

**TUGAS AKHIR
(KL 1702)**

**PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK UNTUK
PERANCANGAN PROSEDUR PENGELASAN
LAS BUSUR CO₂ BERDASARKAN
STANDAR AWS**



PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	8 - 8 - 2000
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	21.1618

RSke
671.521 2
Dj
P-1
2000

Oleh:

DJOKO ARI WIBOWO

NRP. 4394.100.036

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000**



LEMBAR PENGESAHAN
PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK UNTUK PERANCANGAN
PROSEDUR PENGELASAN LAS BUSUR CO₂
BERDASARKAN STANDAR AWS

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Studi Program Sarjana
Pada
Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

Surabaya, Mei 2000

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

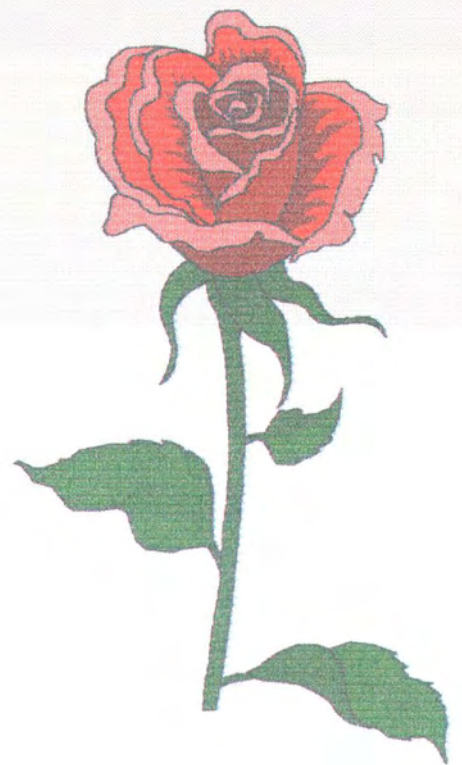


Ir. Soeweify, M. Eng.
NIP. 130 386 579

Ir. Nur Syahroni
NIP. 132 231 143

Kupersembahkan kepada

- Ayahanda Djoko Wikanto
- Ibunda Hermin Nurini
- Calon istriku Dwi Kesumaningtyas
- Adik-adikku Wita Kartika Nurani dan
Joko Wahyu Nugroho



ABSTRAK

Kualitas hasil pengelasan tergantung pada empat faktor, yaitu mesin las, material las, juru las dan prosedur pengelasan. Prosedur pengelasan sebagai salah satu faktor penentu kualitas hasil lasan memegang peranan yang tidak kalah pentingnya dibandingkan dengan tiga faktor yang lainnya. Tahapan perencanaan prosedur pengelasan merupakan suatu kegiatan yang membutuhkan pengetahuan yang cukup luas agar dapat menghasilkan suatu prosedur pengelasan yang memenuhi syarat, sehingga dalam perencanaan suatu prosedur pengelasan diperlukan waktu dan biaya yang cukup besar. Salah satu jalan keluar untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan bantuan komputer. Mengingat penggunaan komputer secara luas di bidang teknologi, industri dan pendidikan, maka dikembangkan perangkat lunak yang mampu menjawab tantangan di bidang teknologi, industri dan pendidikan sekaligus. Keuntungan khusus penggunaan perangkat lunak sebagai sarana bantuan dalam pendidikan adalah mahasiswa dapat membayangkan masalah-masalah pada bidang teknologi, industri dan lain-lain tanpa harus melakukan eksperimen. Hal ini dapat dilakukan karena banyak permasalahan yang telah ditransformasikan menjadi sebuah pemodelan simulasi dalam komputer. Penggunaan komputer secara luas menghasilkan perkembangan-perkembangan baru di bidang teknologi, industri dan pendidikan

Application software MAG's Pro yang dihasilkan pada tugas akhir ini dirancang untuk menyusun suatu prosedur pengelasan las busur CO₂ dengan mudah serta bersifat user-friendly. MAG's Pro yang merupakan application software berbasis data yang dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi. Hasil akhir application software ini berupa sebuah report prosedur pengelasan yang memenuhi standar AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel 16th edition.

Untuk menguji validitas program MAG's Pro, maka dilakukan dengan perbandingan antara prosedur pengelasan yang dihasilkan MAG's Pro dengan prosedur pengelasan yang terdapat di dalam buku Modern Welding Technology karya Howard B. Cary. Data input yang digunakan dalam pengujian ini adalah base metal ASTM A36 sebagai salah satu material yang terdapat di dalam standar AWS D.1.1-98 Structural Welding Code-Steel yang memiliki ketebalan 0,55 inci dengan jenis sambungan las square groove serta posisi pengelasan datar atau flat. Dari hasil pengujian ini ternyata prosedur pengelasan yang dihasilkan dengan MAG's Pro sesuai dengan prosedur pengelasan yang terdapat pada buku Modern Welding Technology.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kepada Tuhan Yang Mahakuasa, Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia yang telah diberikan kepada penulis. Hanya atas izin dan kehendak-Nyalah tugas akhir ini dapat terselesaikan meskipun masih jauh dari kesempurnaan.

Tugas Akhir berjudul Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Perancangan Prosedur Pengelasan Las Busur CO₂ Berdasarkan Standar AWS penulis selesaikan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Teknik Kelautan, FTK – ITS.

Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan yang tulus dari semua pihak. Oleh karenanya pada kesempatan ini penulis memberikan ucapan terima kasih yang tulus dan sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Ir. Soewefy, M. Eng sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingannya kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir Nur Syahroni sebagai Dosen Pembimbing II yang telah memberi ide judul tugas akhir ini, memberikan berbagai bantuan serta memberikan bimbingannya kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Paul Indiyono, MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan.
4. Bapak Ir. Joswan Joesoef Soedjono, MSc. selaku dosen wali penulis.
5. Bapak DR. Ir. Daniel M. Rosyid dan Bapak Ir. Hasan Ikhwani, MSc. yang menjadi inspirator dan telah memberikan suri tauladan yang baik bagi penulis.

6. Bapak dan Ibu yang dengan ikhlas telah membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang tiada berbatas beserta doa dan motivasi yang telah diberikan.
7. Adik-adikku, Wita dan Wahyu atas kasih sayang dan motivasinya, semoga dengan selesainya tugas akhir ini dapat menjadikan suri tauladan yang baik.
8. Calon istriku Dwi Kesumaningtyas atas perhatian, kasih sayang dan cinta yang telah mengisi hari-hari indah penulis.
9. Rozaq Kojer OE'95 dan Nanang Nonding OE'93 yang sangat banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini. Great team man!
10. Teman-teman band, gitaris Akhwan dan Andik, basis Ngadhi, dramer Heru yang atas kebersamaannya dalam grup dan mempercayakan posisi lead vocal kepada penulis. Sori lama nggak bisa latihan, abis sibuk nih! Keep in rock man!!!
11. Teman-temanku seperjuangan Silaban, Anton, Anggun, Paulus, Doni Pak Dhe, Hamidi, Ongko, Yogi Sempel, Dieje, Kamit, Doni Nurcahyo, Budi, Yuniar, Agus, Daryono, Singo serta seluruh arek-arek Teknik Kelautan.
12. Dan Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhir kata semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, ... Mei 2000

Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	i	
ABSTRAK	ii	
KATA PENGANTAR	iii	
DAFTAR ISI	v	
DAFTAR GAMBAR	ix	
DAFTAR TABEL	xi	
BAB I	PENDAHULUAN	
I.1.	LATAR BELAKANG	I-1
I.2.	PERUMUSAN MASALAH	I-5
I.3.	TUJUAN	I-5
I.4.	MANFAAT	I-6
I.5.	BATASAN MASALAH	I-6
I.6.	METODOLOGI	I-6
I.7.	SISTEMATIKA PENULISAN	I-9
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
II.1.	PENGELASAN GMAW	II - 1
II.1.	GMAW SEBAGAI SALAH SATU LAS	

	BUSUR GAS PELINDUNG	II - 4
	II.1.2 PERLENGKAPAN LAS GMAW	II - 8
	II.1.3 METAL TRANSFER PADA PENGELASAN GMAW	II-11
II.2.	PERANGKAT LUNAK	II-17
	II.2.1. APPLICATION SOFTWARE DALAM PENGELASAN	II-13 II-15
	II.2.2 DATABASE	II-19
	II.2.2.1 PENDEKATAN KONSEP DASAR DATABASE	II-21 II-23
	II.2.3. BAHASA PEMROGRAMAN DELPHI	II-23
BAB III	PROSEDUR PENGELASAN	
	III.1. UMUM	III - 1
	III.1.1 KUALIFIKASI PROSEDUR PENGELASAN	III - 9
	III.1.2 PROCEDURE QUALIFICATION REPORT	III-10
	III.1.3 AWS D1.1-98: STRUCTURAL WELDING CODE STEEL	III-11
	III.1.3.1 RUANG LINGKUP AWS D.1.1-98	III-11
	III.1.3.2 BATASAN AWS D.1.1-98	III-13

III.2	BASE METAL	III-13
III.3	PERANCANGAN SAMBUNGAN	III-19
III.4	DENSITAS ARUS	III-23
III.5	VOLTASE	III-26
III.6	ELEKTRODA DAN SHIELDING GAS	III-27
III.6.1	ELEKTRODA	III-28
III.6.2	CO ₂ SEBAGAI GAS PELINDUNG	III-34
III.7	WIRE STICK OUT	III-39
III.8	TEKNIK PENGELASAN	III-41
III.8.1	AYUNAN TORCH	III-42
 BAB IV	 PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PROGRAM	
IV.1.	PENYIAPAN DATA-DATA UNTUK	
	DATABASE	IV- 1
IV.2	PENYUSUNAN DATABASE	IV- 3
IV.3	PEMBUATAN PROGRAM	IV- 9
IV.4	PERANCANGAN FORM DIALOG MAG'S PRO	IV-11
IV.4.1.	FORM SPLASH	IV- 12
IV.4.2	FORM UTAMA	IV-13
IV.4.3	FORM INPUT	IV-14
IV.4.4	FORM ANIMASI	IV-16

IV.4.5 FORM OUTPUT	IV-16
IV.4.6 FORM EDITOR OUTPUT	IV-19
IV.4.7 FORM INFORMASI BASE METAL	IV-21
IV.4.8 FORM KATALOG ELEKTRODA	IV-21
IV.4.9 FORM WPS REPORT	IV-22
IV.4.10 FORM REPORT HASIL EDIT	IV-23
IV.4.11 FORM EDITOR DATABASE WPS	IV-24
IV.4.12 FORM EDITOR DATABASE CONSUMABLE MATERIAL	IV-25
IV.4.13 FORM ABOUT	IV-26
IV.4.14 FORM DATA MODULE	IV-27
IV.5 KODE PROGRAM	IV-28
IV.6 SPESIFIKASI MINIMUM PC UNTUK PROGRAM MAG'S PRO	IV-29
IV.7 PENGUJIAN PROGRAM	IV-28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 KESIMPULAN	V- 1
V.2 SARAN	V- 2

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alir metodologi	I- 8
Gambar 2.1	Las busur gas pelindung	II- 5
Gambar 2.2	Perlengkapan pengelasan GMAW semi otomatis	II- 9
Gambar 2.3	Wire feeding unit untuk pengelasan GMAW	II-10
Gambar 2.4	Jenis-jenis welding gun untuk pengelasan GMAW	II-11
Gambar 2.5	Urutan dip transfer welding	II-13
Gambar 2.6	Spray transfer	II-15
Gambar 2.7	Globular transfer	II-16
Gambar 2.8	Urutan pulsed arc transfer	II-17
Gambar 2.9	Jenjang data	II-22
Gambar 3.1	Bentuk sambungan groove dan fillet	III-21
Gambar 3.2	Tipe-tipe sambungan	III-22
Gambar 3.3	Perbedaan desain sambungan las untuk GMAW	III-23
Gambar 3.4	Perbandingan kecepatan las dan besar arus pengelasan	III-26
Gambar 3.5	Hubungan voltase busur dan arus pengelasan untuk kestabilan busur proses short arc dan spray arc untuk pengelasan baja karbon	III-27
Gambar 3.6	Aturan penamaan AWS untuk elektroda pejal	III-29
Gambar 3.7	Skema terjadinya percikan dalam las busur gas CO ₂	III-37
Gambar 3.8	Hubungan antara frekwensi pemindahan, frekwensi hubungan singkat, lama hubungan singkat dan kandungan argon dalam campuran Ar-CO ₂	III-38
Gambar 3.9	Wire stick out	III-40
Gambar 3.10	Hubungan antara stick out dan ampere pengelasan	III-40

Gambar 3.11	Teknik pengelasan dan pengukuran sudut pengelasan GMAW	III-41
Gambar 3.12	Bentuk ayunan posisi datar	III-42
Gambar 3.13	Bentuk ayunan posisi horizontal	III-43
Gambar 3.14	Bentuk ayunan posisi vertikal	III-44
Gambar 4.1	Diagram alir perangkat lunak	IV-10
Gambar 4.2	Form splash	IV-13
Gambar 4.3	Form utama	IV-14
Gambar 4.4	Form input program	IV-15
Gambar 4.5	Form animasi	IV-16
Gambar 4.6a	Form output halaman pertama	IV-18
Gambar 4.6b	Form ouput halaman kedua	IV-18
Gambar 4.7a	Form editor output halaman pertama	IV-19
Gambar 4.7b	Form editor output halaman kedua	IV-20
Gambar 4.8	Form material description	IV-21
Gambar 4.9	Form katalog elektroda	IV-22
Gambar 4.10	Form report	IV-23
Gambar 4.11	Form report hasil edit	IV-24
Gambar 4.12	Form editor WPS	IV-25
Gambr 4.13	Form editor database concumable material	IV-26
Gambar 4.14	Form about	IV-26
Gambarr 4.15	Form data module	IV-27
Gambar 4.16	Gambar detail sambungan las	IV-30
Gambar 4.17	Input untuk pengujian program	IV-31
Gambar 4.18a	Halaman pertama output hasil running program	IV-32
Gambar 4.18b	Halaman kedua output hasil running program	IV-33
Gambar 4.19	WPS Report hasil running program	IV-34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi las busur gas	II- 6
Tabel 3.1	Logam-logam yang dapat dilas dengan proses pengelasan GMAW.	III-14
Tabel 3.2	Range ketebalan base metal untuk pengelasan GMAW	III-14
Tabel 3.3	Daftar elektroda baja untuk GMAW	III-30
Tabel 3.4	Komposisi kimia elektroda GMAW	III-30
Tabel 3.5	Variasi proses pengelasan GMAW	III-31
Tabel 3.6	Spesifikasi kawat las busur gas (AWS A5.18-1969)	III-34
Tabel 4.1	Database table nama material induk	IV- 4
Tabel 4.2	Database table properti mekanis material induk	IV- 5
Tabel 4.3	Database table komposisi kimia material induk	IV- 5
Tabel 4.4	Datbase table spesifikasi filler material	IV- 5
Tabel 4.5	Database table keterangan filler material	IV- 6
Tabel 4.6	Database table WPS	IV- 8

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sebagaimana kita ketahui, dewasa ini teknologi las telah dikembangkan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Teknologi las digunakan secara luas karena teknik pengelasan menghasilkan struktur yang lebih ringan dan prosesnya lebih sederhana bila dibandingkan dengan teknik penyambungan yang lain seperti mur-baut atau keling (*rivetting*).

Saat ini dunia industri membuka kesempatan seluas-luasnya bagi sekolah tinggi teknik, perguruan tinggi dan balai pelatihan dengan untuk merekrut tenaga kerja baru. Hal tersebut merupakan sebuah tantangan, khususnya bagi para instruktur pengelasan untuk mengembangkan metode-metode pelatihan yang efisien untuk mendapatkan juru las yang berkualifikasi secepat mungkin, di mana para instruktur pengelasan harus mengatasi rintangan-rintangan dalam hal bahasa dan penyampaian (Heston, 1998).

Penggunaan komputer secara luas, terutama untuk *personal computer* menciptakan suatu cara yang modern di bidang pendidikan dan pengajaran. Buku-buku teks klasik dapat didukung oleh sejumlah gambar, skema-skema atau gambar animasi video yang memvisualisasikan permasalahan dan membuatnya dapat dimengerti dan menjadi menarik. Perangkat lunak dan komputer akan membuat para pengajar memiliki potensi besar untuk mengembangkan beberapa

program pendidikan. Hal ini sangat penting, mengingat tidak seluruh praktikum dapat dilaksanakan secara mudah apabila kita harus menganalisa suatu obyek yang sangat besar atau sangat kecil, atau proses-proses yang terjadi berlangsung sangat cepat atau sangat singkat. Semua permasalahan ini dapat diatasi dengan bantuan komputer yang mampu memvisualisasikan obyek pada layar (Donnoval dan Harman, 1992)

Keuntungan lain menggunakan perangkat lunak sebagai sarana bantu dalam proses belajar adalah bahwa mahasiswa dapat membayangkan masalah-masalah pada bidang yang berbeda di bidang fisika, teknologi, industri dan lain-lain tanpa harus melakukan eksperimen. Hal ini dapat dilakukan karena banyak masalah telah ditransformasikan menjadi model matematika atau fisika, yang memberikan fungsi sebagai basis untuk pemodelan dan simulasi pada suatu komputer. Penggunaan *personal computer* secara luas menghasilkan kemungkinan-kemungkinan baru di bidang pendidikan (Donnoval dan Harman, 1992).

Menurut Cary (1994) sampai saat ini pengelasan merupakan metode paling banyak digunakan untuk menyambung logam dibandingkan dengan metode yang lain). Hal ini dikarenakan banyak keuntungan yang dapat diperoleh dari metode ini, antara lain :

- lebih murah
- berat struktur yang dihasilkan lebih ringan
- dapat dipakai untuk menyambung bermacam-macam logam komersial
- dapat digunakan di berbagai tempat dan posisi yang berbeda-beda
- memberikan kekuatan yang hampir sama dengan logam induknya

Tetapi disamping kebaikan-kebaikan di atas, metode pengelasan juga mempunyai kekurangan-kekurangan, seperti:

- selalu timbul cacat-cacat pada hasil pengelasan yang mengakibatkan konsentrasi tegangan
- terdapat daerah HAZ yang merupakan daerah paling lemah
- hasil pengelasan sangat tergantung pada welder, mesin las, material dan proses las

Namun bagaimanapun juga pengelasan merupakan suatu cara yang paling efisien untuk menyambung logam. Pengelasan melibatkan berbagai disiplin ilmu dan variabel-variabel yang lebih kompleks bila dibandingkan dengan proses-proses industri lainnya. Banyak orang tidak mengerti kerumitan pada pengelasan dan menganggap pengelasan adalah suatu proses yang sangat sederhana saja. Pengelasan adalah salah satu cara untuk menyambung dua atau lebih potongan logam dengan membuatnya membuatnya berfungsi sebagai satu kesatuan. Pengelasan dapat digunakan secara luas pada proses manufaktur maupun perbaikan seluruh produk yang terbuat dari logam (Cary, 1994).

Definisi pengelasan menurut Kennedy (1980) adalah suatu proses pemanasan bagian-bagian logam sehingga terjadi fusi pada logam-logam yang mencair tersebut dengan atau tanpa penekanan. Pada las busur, panas ditimbulkan pada titik kontak antara logam yang akan dilas dengan elektroda. Logam induk dan elektroda yang mencair menjadi satu menghasilkan sambungan las.

Sedangkan menurut definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) dalam (Okumura et al. 1994) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (1994) dalam konstruksi baja umum proses las yang digunakan biasanya adalah las busur listrik dengan elektroda terbungkus, las busur listrik dengan pelindung gas CO₂ dan las busur listrik terendam. Proses yang pertama paling banyak dan sangat umum dipakai, tetapi kecepatan pengelasannya dan daya tembusnya lebih rendah bila dibandingkan dengan kedua proses lainnya. Las busur listrik dengan pelindung gas CO₂ mempunyai kecepatan dan daya tembus yang lebih tinggi tetapi memerlukan perlindungan terhadap angin, komponen yang lebih banyak dan pengaturan gas. Pada las busur listrik terendam kecepatan dan daya tembusnya lebih tinggi lagi, tetapi hanya dapat digunakan pada las datar saja dan lebih sesuai untuk pelat tebal daripada pelat tipis. Jelas di sini bahwa masing-masing proses pengelasan mempunyai kelebihan dan keterbatasan sendiri-sendiri yang harus dipertimbangkan masak-masak dalam menentukan proses pengelasan yang akan digunakan.

Telah diketahui bahwa hasil pengelasan dipengaruhi oleh empat faktor, yaitu material las, mesin las, juru las dan prosedur pengelasan. Menurut Wiryosumarto dan Okumura (1994) prosedur pengelasan merupakan suatu perencanaan untuk pelaksanaan pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Untuk menentukan

prosedur pengelasan diperlukan pengetahuan mengenai teknologi pengelasan, ilmu bahan, metalurgi, mekanika teknik dan lain-lain. Setiap pelaksanaan pekerjaan harus dibuat prosedur tersendiri secara terperinci termasuk menentukan alat yang diperlukan yang sesuai dengan rencana pembuatan dan kualitas produksi.

Untuk mendapatkan perangkat lunak yang dapat membantu proses belajar dan mengajar, khususnya bagi mereka yang mengikuti kuliah Teknologi Las dan Inspeksi Las serta untuk mengatasi kesulitan-kesulitan akibat banyaknya data-data dan pengetahuan yang dibutuhkan pada pembuatan spesifikasi prosedur pengelasan (WPS), khususnya pada las busur CO_2 , maka diperlukan bantuan software yang bersifat *user-friendly*. Untuk itu dirancang suatu perangkat lunak berbasis data yang menggunakan program Delphi untuk merancang sambungan-sambungan las dengan dimensi dan jenis material logam serta posisi pengelasan yang berbeda-beda.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Masalah yang dapat dirumuskan pada penulisan tugas akhir ini adalah bagaimanakah perancangan prosedur pengelasan las busur CO_2 berdasarkan standar dari *AWS D1.1-98 Structural Welding Code Steel* dengan menggunakan perangkat lunak?

1.3 TUJUAN

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan perangkat lunak yang dapat membantu dalam perancangan prosedur pengelasan las busur CO_2 berdasarkan standar dari *AWS D1.1-98 - Structural Welding Code Steel*.

1.4 MANFAAT

Dari hasil penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam proses perancangan prosedur pengelasan, khususnya pada proses pengelasan busur CO₂ terutama pada penentuan dan pemilihan prosedur pengelasannya dan diharapkan perangkat lunak yang dihasilkan dapat membantu mahasiswa yang mengikuti mata kuliah Teknologi Las dan Inspeksi Las dalam memahami langkah-langkah penyusunan prosedur pengelasan khususnya untuk las busur CO₂ sehingga dapat menunjang kelancaran proses belajar dan mengajar mata kuliah Teknologi Pengelasan dan Inspeksi Las.

1.5 BATASAN MASALAH

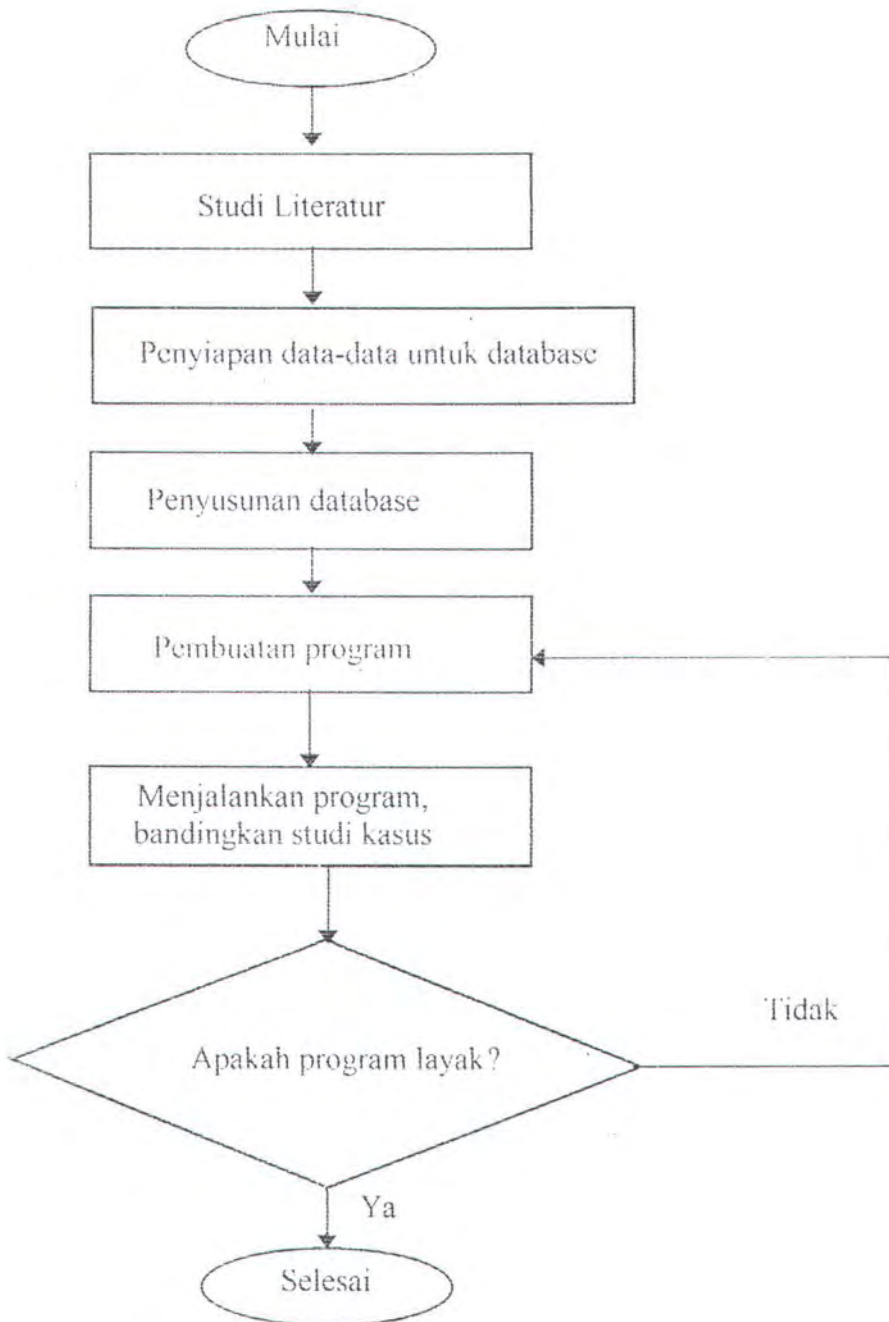
Dalam tugas akhir ini batasan-batasan yang diambil antara lain :

1. Proses pengelasan yang dibahas adalah las busur listrik elektroda terumpan tanpa fluks gas pelindung CO₂ yang untuk selanjutnya disebut sebagai las busur CO₂.
2. Jenis material yang dipakai sesuai dengan yang tersedia di standar *AWS D1.1-98: Structural Welding Code Steel 16th edition 1998*.
3. Standar pengelasan yang digunakan adalah standar *AWS D1.1-98: Structural Welding Code Steel 16th edition 1998*.
4. Bentuk sambungan adalah *butt joint* dan *fillet joint*.
5. Tidak dibahas mengenai kualifikasi hasil pengelasan.

1.6 METODOLOGI

Keberadaan referensi dan data pendukung adalah sangat vital dalam penulisan tugas akhir ini. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam penulisan ini menggunakan langkah-langkah metodologi sebagai berikut:

- Studi literatur, dengan mengambil bahan-bahan acuan teori dari jurnal-jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan masalah pengelasan, khususnya las busur CO₂.
- Penyiapan data-data untuk *database* yang dibutuhkan.
- Penyusunan *database* berdasarkan data-data yang disiapkan sebelumnya.
- Melakukan penyusunan program penentuan dan pemilihan prosedur pengelasan pada las busur CO₂ dengan program *Borland Delphi* berdasarkan standar *AWS D1.1-98: Structural Welding Code Steel 16th Edition 1998* dengan *database* yang berupa data-data yang telah disiapkan sebelumnya.
- Mencoba menjalankan program dan meneliti apakah program cukup layak dipakai dalam penentuan dan pemilihan prosedur pengelasan pada las busur CO₂ dengan cara membandingkannya dengan beberapa prosedur pengelasan yang sudah diuji.
- Bila program sudah cukup layak, maka tujuan mendapatkan perangkat lunak yang dapat membantu dalam penentuan dan pemilihan prosedur pengelasan pada las busur CO₂ berdasarkan standar dari *American Welding Society-Structural Welding Code Steel 16th Edition 1998* telah tercapai.
- Kesimpulan



Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi

I.6. SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang sejarah pengelasan GMAW, kedudukan GMAW di antara berbagai las busur gas lindung, perlengkapan las GMAW, metal transfer yang terjadi pada GMAW, software-software yang pernah dikembangkan sebelumnya, teori database dan bahasa pemrograman yang digunakan.

BAB III PROSEDUR PENGELASAN

Berisi tentang pembahasan mengenai variabel-variabel baik esensial maupun non esensial yang perlu diperhatikan dalam menyusun suatu WPS.

BAB IV PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PROGRAM

Berisi tentang langkah-langkah pembuatan program, penjelasan cara kerja program dan keluaran yang dihasilkan beserta pengujian apakah program telah memberikan *output* yang sesuai dengan standar AWS.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang didapatkan melalui penulisan tugas akhir ini, yaitu ilmu yang harus dikuasai untuk membuat program yang sejenis, definisi program yang dihasilkan, harapan penulis serta saran-saran dari penulis untuk pembaca yang ingin mengembangkan program ini lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 PENGELASAN GMAW

Hasil pengelasan dapat memiliki sifat-sifat fisik dan sifat-sifat kimia yang lebih baik jika pengaruh udara dapat diminimalkan selama proses pengelasan. Beberapa gas seperti oksigen, hidrogen, nitrogen dan uap air cenderung mengurangi kualitas produk pengelasan. Kotoran, debu dan oksida logam (kontaminan) juga mengurangi kualitas hasil las. Gas yang berasal dari fluks maupun gas yang disemprotkan melalui tabung tersendiri digunakan untuk menjaga agar jangan sampai terdapat kontak antara kontaminan dengan permukaan logam serta logam yang mencair pada proses penyolderan, pembrasingan dan pengelasan (Althouse et al., 1970).

Lima puluh dua tahun yang lalu, suatu tim peneliti dari *Airco* (kini dikenal sebagai *BOC Gases*) membuat suatu penemuan yang menghebohkan - suatu penemuan yang kelak merubah produktivitas pekerjaan pengelasan. Penemuan mereka adalah proses pengelasan kini dikenal sebagai *Gas Metal Arc Welding (GMAW)* atau *Metal Inert Gas (MIG) Welding*. Penemuan ini selain merupakan inspirator bagi fabrikator-fabrikator yang ada pada saat ini juga merupakan salah satu faktor kunci revolusi proses fabrikasi pada era Perang Dunia II (Sullivan, 1998).

Pengembangan teoritis pada pengelasan busur dengan gas pelindung dimulai pada sekitar tahun 1890, ketika suatu hak paten diberikan untuk sebuah

gagasan untuk menyelubungi suatu elektroda pejal dengan lapisan gas CO_2 . Gagasan inilah yang mungkin menjadi cikal bakal proses pengelasan busur hidrogen atomis. Pada tahun 1920, suatu elektroda wolfram tak terumpan yang mampu beroperasi pada arus tinggi mulai dikembangkan. Juga pada tahun 1920, dua gas mulia, yaitu helium dan argon mulai digunakan untuk melindungi elektroda wolfram dan alur las dari gangguan oksidasi yang muncul pada temperatur pengelasan yang tinggi yang ditimbulkan oleh busur listrik antara elektroda wolfram dan logam induk. Henry M. Hobart dan Philip K. Bevers mendapatkan hak paten pada tahun 1930 atas penemuan mereka berupa pengelasan busur pada logam tanpa menggunakan fluks dengan pelindung gas helium atau argon dengan menggunakan elektroda yang mempunyai temperatur leleh yang tinggi, yaitu elektroda wolfram dan karbon (Little 1982).

Karena mahalny gas mulia, maka gas tersebut tidak digunakan untuk beberapa pengelasan komersial sampai tahun 1940, walau begitu helium merupakan gas yang cukup murah untuk diproduksi dan proses pengelasan hidrogen atomis mulai digunakan untuk menyambung banyak logam *ferrous* dan *non ferrous*. Pada tahun 1940, Russel Meredith mengembangkan penggunaan gas mulia untuk pengelasan alumunium dan magnesium pada pesawat terbang. Proses pengelasan inilah yang merupakan proses pengelasan busur dengan pelindung gas mulia pertama yang menggunakan pemegang elektroda yang dilengkapi dengan tube sehingga dapat memperluas sampai hampir seluruh titik elektroda. Elektroda yang digunakan adalah sebuah batang wolfram dan pelindungnya adalah gas helium yang dialirkan melalui pipa pada kolom busur. Proses pertama ini disebut

helium arc. Dari proses dasar ini, proses *metal inert gas* (MIG) atau las logam gas mulia berkembang mengikuti proses ini. Pada pengelasan MIG, elektroda wolfram digantikan oleh elektroda tanpa fluks yang terumpan secara otomatis melewati penjepit pada pemegang elektroda, menyuplai material untuk kolom busur dan melakukan proses transfer logam. Proses ini juga menggunakan gas pelindung (Little 1982).

Menurut Houldcroft dan John (1988) proses ini sebenarnya dikenal di Amerika Serikat sebagai *metal inert gas welding*, namun ketika CO₂ digunakan sebagai pelindung, maka dikenal pula *metal active gas welding*. Sebenarnya *gas metal arc welding* merupakan nama yang dikenal secara umum, namun di Eropa nama ini lebih dikenal sebagai *MIG welding*. Proses ini pada awalnya digunakan untuk pengelasan *aluminium alloy* dengan helium atau argon sebagai gas pelindungnya. Untuk pengelasan baja, proses ini relatif mahal bila dibandingkan dengan proses pengelasan *shielded metal arc welding* (SMAW), namun keadaan ini berubah setelah 20 tahun kemudian diperkenalkan pengembangan *power sources* yang lebih murah dan penggunaan CO₂ sebagai gas pelindung. Selanjutnya proses GMAW kini digunakan secara luas untuk pengelasan berbagai material baik material *ferrous* maupun *non-ferrous*.

Ciri esensial GMAW adalah elektroda dengan diameter kecil yang diumpankan kepada busur dari suatu *wire coil*. Karena diameter elektroda *wire* yang kecil, maka densitas arus tinggi dan laju pengumpanan *wire* oleh busur (*burn-off rate*) cukup tinggi yaitu beberapa meter per menit atau lebih. *Wire* diumpankan pada kecepatan konstan dan panjang busur tetap stabil karena

fasilitas elektrik yang dikenal sebagai *self-adjustment*, yaitu suatu mekanisme di mana perubahan pada panjang busur (yang merubah voltase busur) menyebabkan perubahan pada arus busur yang kemudian merubah *burn-off rate*. Kestabilan pada operasi pengelasan dikarenakan *burn-off rate* jauh lebih tinggi daripada laju perubahan posisi busur yang diakibatkan gerakan tangan juru las (Houldcroft dan John, 1988).

Menurut Soewefy (1995) proses pengelasan GMAW banyak digunakan utamanya pada galangan kapal yang besar seperti PT DOK SURABAYA, PT PAL INDONESIA dan lain-lain, karena mempunyai kelebihan antara lain:

1. Nilai deposit *weld metal* yang lebih tinggi.
2. Pemakaian *filler material* yang efisien.
3. Asap yang timbul pada proses pengelasan lebih sedikit.
4. Pengerjaan pengelasan lebih mudah.
5. Pekerjaan pembersihan *slag* dari hasil pengelasan sedikit.
6. Memungkinkan dilakukan otomatisasi.
7. Mengurangi peranan operator las dalam menentukan kualitas.

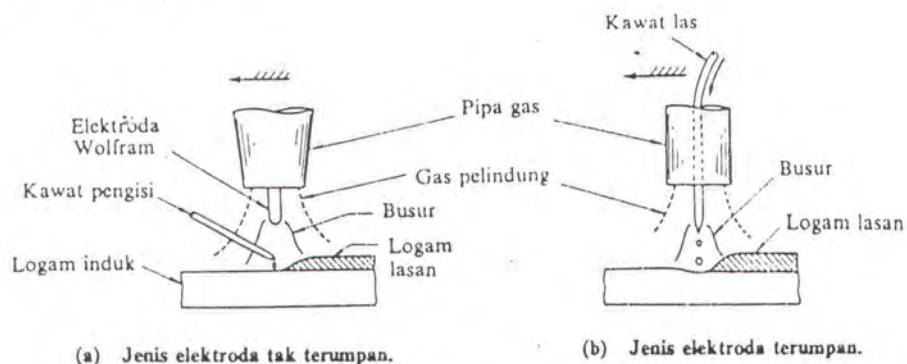
GMAW memiliki beberapa macam penamaan seperti: MIG Welding, MAG Welding, CO₂ Welding, Fine Wire Welding, Spray Arc Welding, Pulsed Arc Welding dan Short Circuit Arc Welding.

II.1.1 GMAW SEBAGAI SALAH SATU LAS BUSUR GAS PELINDUNG

Ada empat variasi proses pengelasan busur dengan pelindung gas menurut Althouse et al. (1970), yaitu :

1. *Gas tungsten-arc welding (TIG)*
2. *Gas metal arc-welding(MIG)*
3. *Gas carbon-arc welding (CIG)*
4. *Arc-spot welding (Gas shielded)*

Sedangkan menurut Wiryosumarto dan Okumura (1994), las busur gas biasanya dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu kelompok elektroda terumpan dan kelompok elektroda tak terumpan. Kelompok elektroda tak terumpan menggunakan batang wolfram sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa turut mencair, sedangkan kelompok elektroda terumpan, sebagai elektrodanya digunakan kawat las. Skema dari kedua kelompok ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



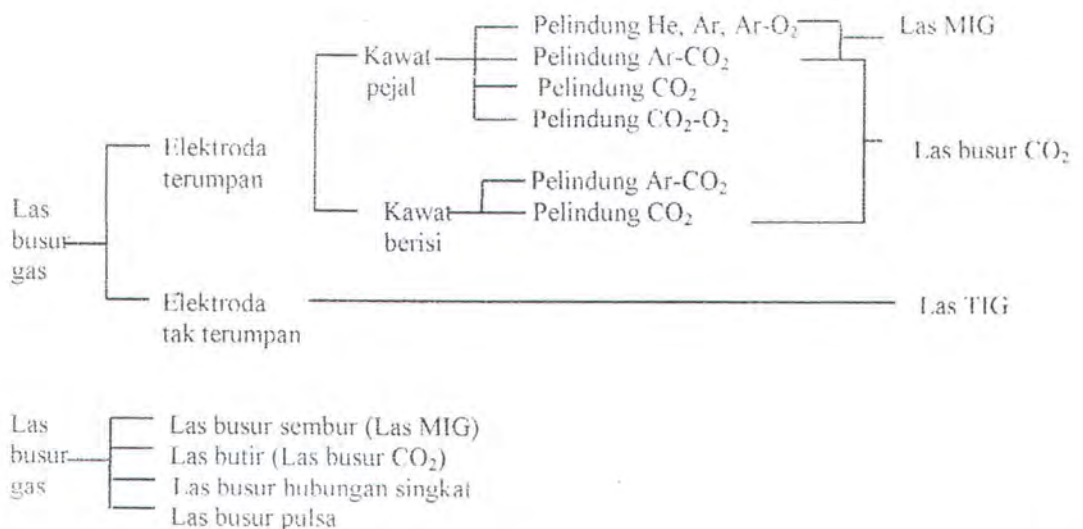
Gambar 2.1 Las Busur Gas Pelindung
(Wiryosumarto dan Okumura, 1994)

Kelompok elektroda tak terumpan masih dibagi lagi ke dalam dua jenis, yaitu jenis dengan logam pengisi dan jenis tanpa logam pengisi. Kelompok ini biasanya menggunakan gas mulia sebagai gas pelindung sehingga secara keseluruhannya nama kelompok ini menjadi las wolfram gas mulia atau dalam bahasa Inggris : *tungsten inert gas welding* yang disingkat menjadi *TIG welding* atau las TIG.

Wiryosumarto dan Okumura (1994) masih membagi lagi kelompok elektroda terumpan menjadi dua jenis berdasarkan kawat elektrodanya, yaitu kawat elektroda pejal dan jenis kawat elektroda dengan inti fluks. Dalam kelompok ini digunakan dua macam gas pelindung yaitu gas mulia dan gas CO₂. Kelompok dengan pelindung gas mulia nama keseluruhannya menjadi las busur logam gas mulia yang dalam bahasa Inggris adalah : *metal inert gas arc welding* yang biasanya disingkat menjadi *MIG welding* atau las MIG. Pada waktu ini umumnya gas pelindung yang digunakan berupa campuran dari gas Ar dan gas CO₂.

Di samping klasifikasi berdasarkan gas selubung dipergunakan juga klasifikasi yang didasarkan pada sifat busur. Karena akhir-akhir ini banyak sistem penyediaan sumber listrik yang dapat menghasilkan busur dengan sifat-sifat khusus, maka klasifikasi ini banyak dipergunakan. Pada tabel 2.1 ditunjukkan klasifikasi las busur gas yang ada pada waktu ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi Las Busur Gas
(Wiryosumarto dan Okumura, 1994)



Untuk las logam gas mulia gas mulia, kawat las pengisi juga berfungsi sebagai elektroda yang diumpankan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk. Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O_2 antara 2 sampai 5 % atau CO_2 antara 5 sampai 20 %.

Kenneddy (1974) membedakan proses pengelasan GMAW menjadi 4 klasifikasi utama berdasarkan *shielding gas*-nya dan/atau cara *metal transfer*-nya, antara lain:

- **Carbon dioxide GMAW.** Pengelasan ini mampu melakukan pengelasan kecepatan tinggi. Metode pengelasan ini digunakan untuk pengelasan *carbon steel* dan *low alloyed steel*. Cara pengelasan ini mendepositkan *filler material* mirip dengan *globular transfer* pada pengelasan SMAW.
- **Microwire GMAW.** Proses pengelasan ini mampu melakukan pengelasan terhadap baja paling tipis yang masih dapat dilas dengan pengelasan busur. Logam depositnya memiliki kandungan hidrogen yang rendah. *Metal transfer*-nya adalah *short circuit*, pengelasan ini dapat dilakukan dengan segala posisi. Pengelasan ini menggunakan *filler wire* berdiameter kecil dan *shielding gas* berupa campuran 75% argon dan 25% CO_2 . Proses pengelasan ini mampu mengelas *low alloyed*, *high-strength*, dan *stainless steel*.
- **MIG GMAW.** Proses pengelasan ini menggunakan argon sebagai *shielding gas* untuk mengelas alumunium, *alluminium alloy*, *stainless steel*, nikel, *nickel alloy* dan *copper alloy*. Seringkali dalam pengelasan

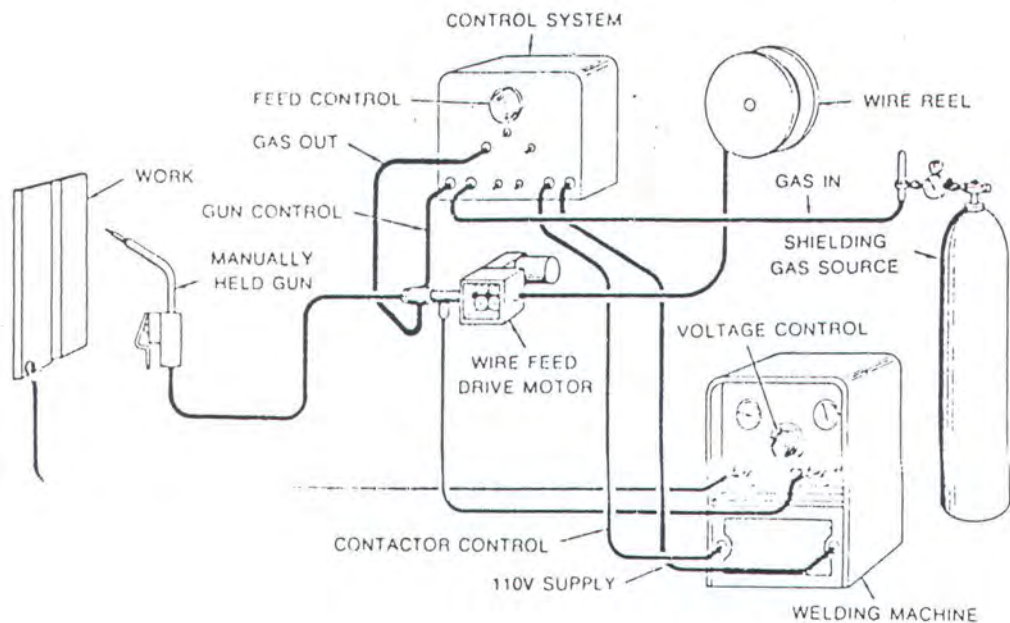
aluminium dan *aluminium alloy* digunakan campuran argon dan helium dengan perbandingan 50/50 atau 75/25 sebagai *shielding gas*-nya.

- ***Spray-arc GMAW***. Proses pengelasan ini umumnya digunakan untuk pengelasan *stainless steel* pada posisi *flat* dan *horizontal* untuk pengelasan *fillet*. Kadang-kadang ditambahkan gas oksigen sebanyak 5% pada argon agar proses las mempunyai kecepatan yang tinggi dengan proses pembersihan (*clean up*) sedikit.

II.1.2 PERLENGKAPAN LAS GMAW

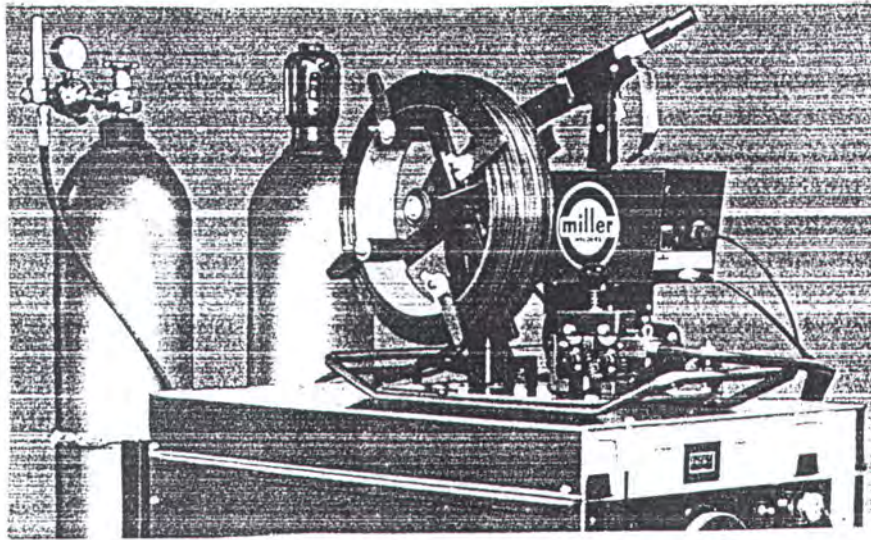
Perlengkapan menurut Giachino et al. (1979) GMAW terdiri dari 4 unit utama, yaitu: *power supply*, *wire feeding mechanism*, *welding gun* dan *gas supply*.

- ***Power supply***. Mesin las yang dianjurkan untuk pengelasan GMAW adalah sebuah *rectifier* atau motor generator yang menyuplai arus searah. Arus searah polaritas balik (DCRP) paling banyak digunakan karena memberikan efisiensi terbaik karena DCRP memberikan pencairan yang lebih baik, penetrasi lebih dalam dan *cleaning action* yang lebih baik. Menurut Houldcroft dan John (1988) telah dikembangkan mesin las tipe DCSP yang memiliki *burn-off* rate lebih tinggi, namun terdapat masalah dengan kestabilan elektroda. Walaupun begitu, DCSP memberikan keuntungan apabila digunakan dengan elektroda *cored wire* pada pengelasan FCAW. *Transformer rectifier power sources* banyak digunakan karena memperbesar efek *self adjustment*.



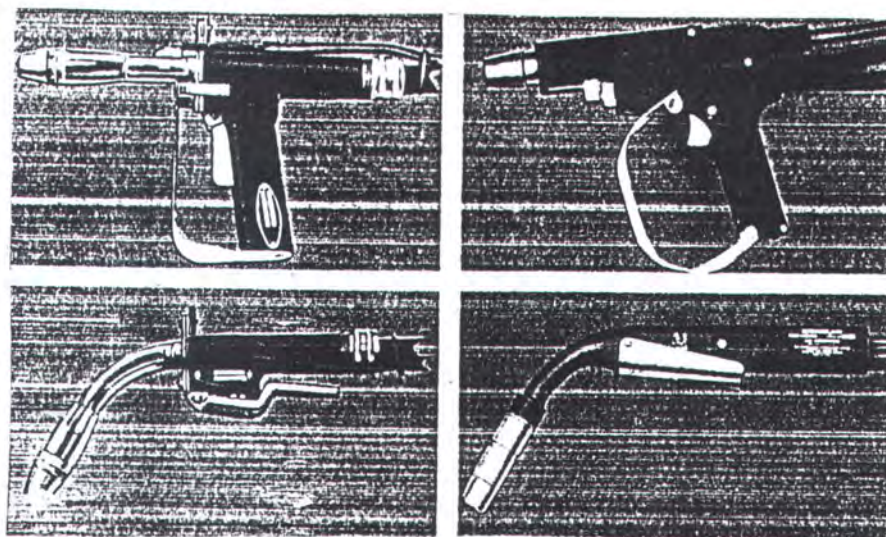
Gambar 2.2 Perlengkapan pengelasan GMAW semi otomatis (Kennedy, 1979)

- Wire Feeding Mechanism.** Merupakan mekanisme pengumpanan elektroda *wire* yang secara otomatis mengatur elektroda *wire* dari *wire spool* menuju gun dan busur (lihat gambar 2.3). Pada panel dapat ditambahkan kontrol untuk memberikan variasi laju pengumpanan *wire* (*wire feeding rate*). *Control panel* ini biasanya sudah termasuk sebuah dengan *welding power contactor* dan sebuah solenoida untuk mendorong aliran gas. Pada unit-unit yang dirancang untuk pengelasan dengan menggunakan *gun* yang menggunakan air sebagai sistem pendingin, biasanya dilengkapi dengan sebuah kontrol untuk menghidupkan dan mematikan aliran air. *Wire feeder* dapat menyatu ataupun terpisah (bila pengelasan dilakukan di tempat yang luas) dengan mesin *power supply*.



Gambar 2.3 Wire feeding unit untuk pengelasan GMAW
(Giachino, 1971)

- **Welding Gun.** Fungsi *welding gun* adalah sebagai *delivery* untuk *wire*, *shielding gas* dan *welding current* ke area busur. *Gun* yang dioperasikan secara manual dapat menggunakan pendingin air atau udara. *Gun* dengan pendingin udara dirancang khusus untuk pengelasan pelat tipis yang membutuhkan arus kurang dari 200 Ampere dengan menggunakan argon sebagai gas pelindung. Namun *gun* ini juga dapat digunakan dengan arus lebih tinggi (300 Ampere) dengan menggunakan CO₂ sebagai gas pelindung karena efek pendinginan gas CO₂ tersebut. *Gun* dengan pendingin air paling baik digunakan dengan arus lebih dari 200 Ampere.



Gambar 2.4 Jenis-jenis welding gun untuk pengelasan GMAW
(Giachino, 1979)

II.1.3 METAL TRANSFER PADA PENGELASAN GMAW

Menurut Houldcroft dan John (1988) cara logam berpindah dari elektroda *wire* ke *molten pool* untuk berbagai material dan diameter *wire* tergantung pada arus, voltase dan komposisi gas pelindung. Untuk pengelasan *aluminium alloy* dengan menggunakan gas mulia sebagai gas pelindung dengan arus rendah, maka *metal transfer* berupa *large drop* yang menetes akibat gravitasi, keadaan ini merupakan kondisi yang tidak sesuai untuk pengelasan tersebut. Jika arus dinaikkan, maka bentuk transfer berubah secara nyata menjadi *stream* atau *fine drops* yang terdorong sepanjang *arc gap* oleh gaya elektromagnetik pada busur. Inilah yang disebut *spray transfer* dan transfer logam jenis ini memungkinkan proses pengelasan dilaksanakan dengan posisi melawan gaya gravitasi. *Spray*

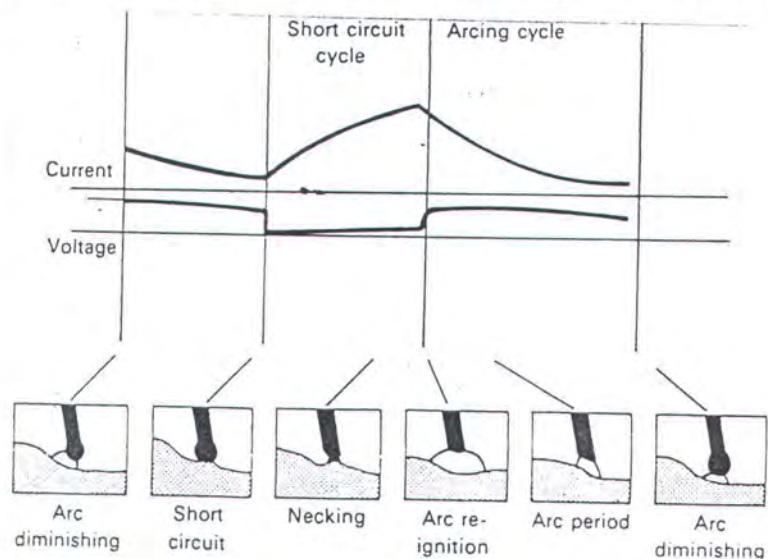
transfer juga terdapat pada pengelasan dengan elektroda *steel wire* dengan gas mulia sebagai pelindungnya. Walaupun transfer jenis ini memungkinkan pengelasan dilakukan dengan posisi melawan gravitasi, namun biasanya *molten pool* yang dihasilkan terlalu cair sehingga kurang stabil. Jika gas pelindungnya diganti dengan karbondioksida, maka transfer akan berubah menjadi *globular transfer* dan perpindahan logam kurang dapat diarahkan dengan baik.

Jika voltase busur diturunkan dan arus dikurangi (dengan cara mengurangi laju pengumpanan wire) pada penggunaan elektroda *steel wire*, maka akan terjadi *dip transfer* yang juga dikenal sebagai *short-circuit transfer* di mana metal dicairkan secara langsung ke *molten pool* tanpa melewati *arc gap*. Jika voltase sedikit dinaikkan, maka transfer akan melewati *gap*, namun terjadi *globules* yang tidak mengganggu pengarahannya *spray transfer*. Perubahan transfer dari *globular* menjadi *spray* kurang terlihat pada *steel* jika dibandingkan dengan pengelasan *aluminium alloy*. Pengontrolan tipe *metal transfer* pada arus rendah ke medium dapat dilakukan dengan menggunakan *power source* khusus yang memberikan *pulsed current* kepada busur.

Berikut ini berbagai jenis *metal transfer* pada pengelasan GMAW:

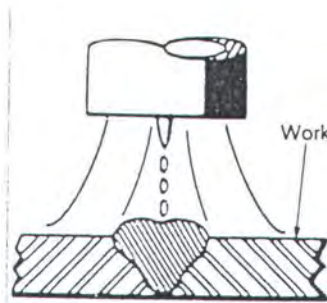
- *Dip transfer* atau *short-circuiting arc*. Pada *dip transfer*, range arus rendah dan penyetelan voltase diatur untuk menghasilkan *short-circuiting arc*. Pada saat pengelasan dimulai dan *molten pool* terbentuk, ujung elektroda tercelup dan menyebabkan suatu hubungan pendek (*short circuit*). Hal inilah yang menyebabkan kenaikan temperatur secara mendadak pada wire (disebabkan *short-circuit current* mengalir menuju

workpiece) dan ujung elektroda mencair. Busur terbentuk dengan segera antara ujung elektroda dengan *molten pool*. Busur ini menjaga agar *electrical circuit* tetap berlangsung dan menghasilkan panas untuk menjaga agar cairan pada *molten fluid* tetap cair. Langkah-langkah ini terjadi dalam frekwensi di atas 200 kali setiap detik. (lihat gambar 2.5) Metode transfer ini cocok untuk berbagai posisi pengelasan dan memiliki keuntungan, yaitu *heat input* pada *workpiece* tetap dijaga pada nilai minimum, dengan demikian distorsi dapat dibatasi dan memungkinkan material tipis untuk dilas. *Dip transfer* terjadi baik pada pengelasan dengan gas pelindung CO₂ murni maupun campuran argon/CO₂. Diameter elektroda yang cocok adalah antara 0,6-1,2 mm (0,024-3/14 inci) namun yang paling banyak dipakai untuk pengelasan baja tipis adalah diameter 0,6 mm dan 0,8 mm (0,024 dan 1/32 inci). Dip transfer umumnya tidak digunakan pada pengelasan alumunium karena tahanan *wire* harus diturunkan agar *wire* dapat mencair dengan baik selama *short-circuit*.



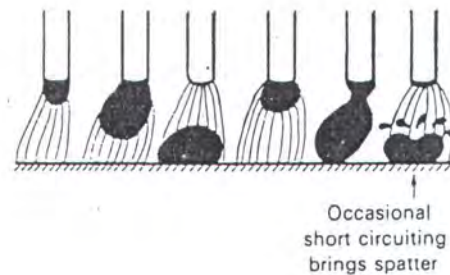
Gambar 2.5 Urutan dip transfer welding
(Houldcroft dan John, 1988)

- *Spray transfer*. Pada mode *spray transfer*, voltase dan arusnya lebih tinggi dibandingkan dengan *dip transfer*. Busurnya cenderung meyelubungi ujung elektroda yang meruncing sehingga aliran *droplet* naik (lihat gambar 2.6). Efek ini terjadi pada logam *non-ferrous* dengan gas mulia sebagai pelindung, namun pada pengelasan material *ferrous* dibutuhkan adanya oksigen yang dapat berasal dari penambahan gas oksigen eksternal maupun hasil disosiasi karbondioksida. Oksigen dengan kadar di atas 5% maupun karbondioksida dengan kadar di atas 20% ditambahkan untuk pengelasan ini. Ukuran tiap *droplet* hampir sama dengan diameter wire. Arus mengalir secara kontinyu karena voltase yang tinggi menjaga agar busur lebih panjang dan mencegah terjadinya *short circuit*. Dengan cara ini akan didapatkan *weld metal* dengan *deposition rate* yang tinggi. *Positional welding* umumnya tidak memungkinkan karena *heat input* lebih tinggi sehingga menyebabkan *molten pool* terlalu cair. *Spray transfer* yang paling baik adalah dengan menggunakan gas pelindung yang berbahan dasar argon dan *solid wire* yang sesuai berdiameter 0,8 mm sampai 1,6 mm (1/32 inci sampai 1/16 inci).



Gambar 2.6 Spray transfer
(Houldcroft dan John, 1988)

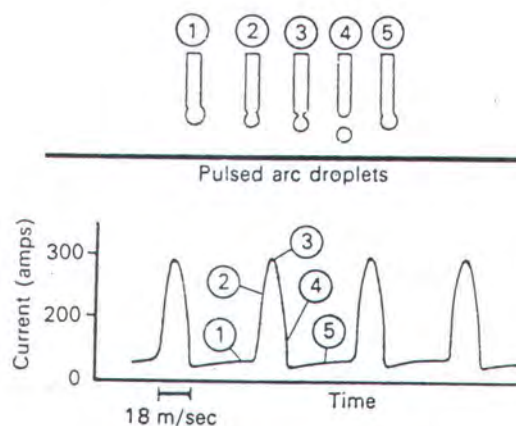
- *Globular transfer*. *Transfer mode* ini terletak di antara *dip transfer* dan *spray transfer*, transfer terjadi dengan bentuk bulatan (*globules*) yang dapat dilihat pada gambar 2.7. Bulatan cair ini jatuh ke *molten pool* terutama karena gaya gravitasi. Tidak seperti gas pelindung berbahan dasar argon, CO_2 tidak akan menghasilkan *true spray transfer*, melainkan akan menghasilkan *globular transfer*. Walaupun cukup memuaskan untuk banyak penggunaan, *globular transfer* menghasilkan *spatter* yang berlebihan dan penampakan las yang tidak rapi jika dibandingkan dengan pengelasan dengan mode *spray transfer* yang menggunakan gas pelindung berbahan dasar argon. *Globular transfer* dapat memberikan keuntungan jika pengelasan membutuhkan *heat input* lebih rendah daripada *spray transfer*. *Globular transfer* dapat dilaksanakan dengan berbagai ukuran elektroda *wire*.



Gambar 2.7 Globular transfer
(Houldcroft dan John, 1988)

- *Pulsed arc transfer*. Metode transfer ini dapat dikatakan mode *spray arc transfer* terkontrol yang membutuhkan *power source* yang lebih canggih, sedangkan tipe-tipe *metal transfer* lain yang dibahas sebelumnya didapatkan hanya dengan *power source* dan *wire feeding unit* standar. Pada *spray transfer*, *droplet metal* diatur dari ujung elektroda melintasi *arc gap* menuju *molten pool* pada arus konstan. Pada *dip transfer*, metal ditransfer ke *molten pool* secara agak tidak teratur (ireguler) selama periode *short-circuiting*. *Pulsed-arc* memungkinkan *droplet* melintasi *arc gap* dengan frekwensi teratur (reguler) menggunakan denyut (*pulse*) arus pada *spray transfer range* yang disuplai dari *power source* khusus. Transfer logam dari ujung *wire* ke *molten pool* terjadi hanya pada periode *pulse* atau *peak current* (lihat gambar 2.8). Selama selang waktu (interval) antar *pulse* terdapat arus *background* yang rendah membuat busur tetap menjaga agar ujung elektroda tetap cair tanpa ada logam yang ditransfer. Pada *pulsed transfer*, *weld metal* diatur sehingga melewati *arc gap* pada arus tinggi, namun arus rata-rata pengelasan tetap relatif rendah. Operator dapat membuat variasi *pulse height* atau *background*

current untuk mendapatkan kontrol penuh semaksimal mungkin terhadap *heat input* maupun jumlah metal yang didepositkan. Pada banyak *power source modern pulse procedure* dirancang awal oleh pabrik agar penggunaannya lebih sederhana. Pulsed arc transfer dapat digunakan pada *mild* dan *alloy steel*, *stainless steel* dan terutama berguna untuk pengelasan pelat aluminium dengan ketebalan rendah sampai medium apabila *dip transfer* tidak digunakan untuk pengelasan *alloy* ini.



Gambar 2.8 Urutan pulsed arc transfer
(Houldcroft dan John, 1988)

II.2 PERANGKAT LUNAK

Saat ini kita hidup dalam dunia yang sedang mengalami proses evolusi penerapan dari teknologi komputer yang disebut dengan *computerization*

(komputerisasi). Komputerisasi tidak hanya mempengaruhi kita secara pribadi, tetapi juga mempengaruhi masyarakat, organisasi-organisasi dan hampir semua di dunia tidak terlewat untuk tersentuh dengan komputerisasi. Tampaknya komputerisasi telah menjamah segala bidang. Kecepatan dan ketepatan komputer sangat bermanfaat dalam pengolahan data pada aplikasi teknik. Komputer dapat menyelesaikan perhitungan-perhitungan yang sulit dan rumit dalam waktu yang cepat. Perhitungan-perhitungan yang harus dilakukan secara *trial and error* (coba dan salah), yang biasanya sangat lama, sulit dan membosankan, sekarang dapat dialihkan tugasnya kepada komputer. Penelitian dan riset pengembangan yang berbahaya bila dilakukan oleh manusia dan yang membutuhkan biaya yang besar, sekarang dapat dilakukan secara simulasi pada komputer.

Teknologi yang canggih dari perangkat keras hanya akan berfungsi jika instruksi-instruksi tertentu telah diberikan kepadanya. Instruksi-instruksi itulah disebut sebagai perangkat lunak (*software*), karena tidak “dikeraskan” (*“hardened”*) di dalam sirkuit komputer. Instruksi-instruksi perangkat lunak ditulis oleh manusia untuk mengaktifkan fungsi perangkat keras komputer (Jogiyanto, 1992).

Jogiyanto (1992) mengelompokkan kelompok perangkat lunak ke dalam tiga bagian, yaitu:

1. *Operating System*, yaitu program yang ditulis untuk mengendalikan dan mengkoordinasi kegiatan dari sistem komputer.
2. *Language Software*, yaitu program yang digunakan untuk menterjemahkan instruksi-instruksi yang ditulis dalam bahasa

pemrograman ke dalam bahasa mesin supaya dapat dimengerti oleh komputer.

3. *Application software*, yaitu program yang ditulis dan diterjemahkan oleh *language software* untuk menyelesaikan suatu aplikasi tertentu

Istilah perangkat lunak sistem (*system software*) menyangkut dua kategori, yang pertama *operating system software* dan *language software*.

II.2.1 APPLICATION SOFTWARE DALAM PENGELASAN

Dalam dunia pengelasan telah dikembangkan banyak *application software* dengan berbagai macam kegunaan. Di antara sekian banyak *application software* dalam pengelasan, yang diketahui oleh penulis antara lain adalah:

- *Weldspec for DOS*, kumpulan database WPS, WPQ, inspeksi NDT serta mekanisme pengujian hasil pengelasan. Perangkat lunak ini dapat melakukan pelacakan prosedur pengelasan, material induk, *consumable material*, perencanaan inspeksi dan mesin las dengan cepat, dikeluarkan tahun 1987.
- *Arc Analysis*, berguna untuk menganalisa kekuatan sambungan las dengan menggunakan metode elemen hingga, dikeluarkan tahun 1987.
- *Weldvol*, memberikan informasi kuantitas penggunaan *consumable material* yang selama pengelasan, dikeluarkan tahun 1987 (Lucas, 1987).

Berikut ini software untuk pengelasan produksi TWI Software yang dikeluarkan pada tahun 1998:

- *Weldspec*, perangkat lunak yang berisi database prosedur pengelasan(WPS, PQR dan desain sambungan). Weldspec mempunyai format WPS yang sesuai dengan standar EN288, ASME IX, AWS D1.1 dan juga format WPS yang dapat disesuaikan dengan standar yang dipakai.
- *Welder Qual*, merupakan database kualifikasi pengelasan berdasarkan standar EN 287, ASME IX, AWS D1.1, dan semua variabel kualifikasi pengelas (TWI, 1998).
- *Welding Co-ordinator for Windows*, merupakan penyatuan Weldspec, Welderqual, NDTspec, Crackwise dan Fatiguewise sehingga perencanaan sambungan dapat dilakukan dengan cepat (TWI, 1998).

Perangkat lunak terbaru yang diketahui penulis adalah produksi Computer Engineering, Inc. yang dikeluarkan pada tahun 1999, perangkat lunak tersebut adalah:

- *AWS Welding*, digunakan dalam perencanaan prosedur pengelasan, kualifikasi sambungan, me-record hasil kualifikasi prosedur pengelasan berdasarkan standar AWS.
- *Welding Pro Write*, berupa *database application* yang dapat digunakan untuk merencanakan prosedur pengelasan dan kualifikasinya dengan standar ASME Section IX.
- *Forms Module*, berupa *database application* yang digunakan untuk penulisan data perancangan prosedur pengelasan dan me-record hasil kualifikasinya (Computer Engineering, 1999).

II.2.2 DATABASE

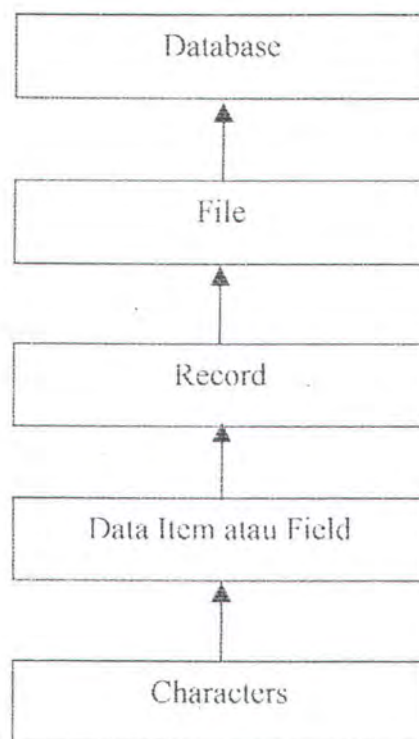
Menurut Jogiyanto (1989) *database* merupakan kumpulan dari data yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya, tersimpan dalam perangkat keras komputer dan digunakan perangkat lunak untuk memanipulasinya. Sedangkan menurut Pramono (1999 b) segala bentuk koleksi informasi adalah *database*. Kelompok informasi tersebut kemudian diorganisasi terhadap jenisnya dan diwujudkan dalam bentuk tabel. Meskipun telah dipisahkan terhadap jenisnya yang berlainan, suatu tabel memiliki keterkaitan informasi dengan tabel lainnya. Untuk mewujudkan keterkaitan antar tabel itulah maka muncul konsep *Relational Database*.

Database merupakan salah satu komponen yang penting dalam sistem informasi, karena merupakan dasar dalam menyediakan informasi bagi para pengguna. Penerapan *database* dalam sistem informasi disebut dengan *database system*. *Database system* adalah suatu sistem informasi yang mengintegrasikan kumpulan dari data yang saling berhubungan satu dengan yang lain dan membuatnya tersedia untuk beberapa aplikasi yang bermacam-macam di dalam suatu organisasi. Dengan *database system* ini tiap-tiap orang atau bagian-bagian dapat memandang *database* dari sudut pandang yang berbeda. Sebagai contoh dalam ilmu ekonomi, misalnya bagian kredit memandang suatu data sebagai data piutang, namun bagian penjualan memandang data tersebut sebagai data penjualan. Bagian personalia memandang suatu data sebagai data karyawan, namun bagian penggajian memandangnya sebagai data penggajian. Semuanya terintegrasi dalam sebuah data yang umum. Berbeda dengan sistem pengolahan

data tradisional (*traditional data processing system*), sumber data ditangani sendiri-sendiri untuk setiap aplikasi (Jogiyanto, 1989).

II.2.2.1 PENDEKATAN KONSEP DASAR DATABASE

Menurut Jogiyanto (1989) dalam menyusun suatu *database*, data mempunyai jenjang dari karakter-karakter (*characters*), item data (*data item* atau *field*), record, file dan kemudian *database*. Jenjang ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 9 Jenjang data
(Jogiyanto, 1989)

Keterangan:

- **Characters.** Karakter merupakan bagian data yang terkecil, dapat berupa karakter numerik, huruf atau karakter-karakter khusus (*special characters*) yang membentuk suatu *field*.
- **Field.** Suatu *field* menggambarkan suatu atribut dari *record* yang menunjukkan suatu item dari data, seperti misalnya: nama, alamat dan lain-lain. Kumpulan dari *field* membentuk suatu *record*. Ada 3 hal penting dalam suatu *field*, yaitu:

1. **Nama *field* (*field name*)**

Field harus diberi nama untuk membedakan *field* yang satu dengan *field* lainnya.

2. **Representasi *field* (*field representation*)**

Representasi *field* menunjukkan tipe *field* (*field type*) serta lebar *field* (*field width*). Field dapat bertipe numerik, huruf, tanggal ataupun memo. Lebar *field* menunjukkan ruang maksimum *field* yang dapat diisi dengan karakter-karakter data.

3. **Nilai *field* (*field value*)**

Nilai *field* menunjukkan isi *field* untuk masing-masing *record*.

- **Record.** Kumpulan *field* menunjukkan suatu *record*. Record menggambarkan suatu unit data individu yang tertentu. Kumpulan dari *record* membentuk suatu *file*. Misalnya untuk *file* komposisi kimia material, maka tiap-tiap *record* mewakili data material.

- **File.** File terdiri dari record-record yang menggambarkan satu kesatuan data yang sejenis. Misalnya *file material* berisi data tentang nama semua material yang ada pada standar AWS.
- **Database.** Kumpulan *file* akan menyusun suatu *database*.

Sedangkan Pramono (1999 b) memberikan konsep-konsep dasar yang ada pada suatu *Relational Database* mulai dari Tabel, *Record*, *Field*, *Domain*, *Key* sampai dengan *Integrity* sebagai berikut:

- **Tabel.** Tabel adalah sebuah *file* yang menampung data-data dalam kelompok tertentu di mana antara kelompok satu dengan lainnya saling terkait. Misalnya dari suatu pekerjaan pengelasan busur listrik, bisa disusun sebuah tabel berdasarkan proses pengelasannya. Sehingga terbentuklah tabel SMAW, tabel GMAW, tabel FCAW, tabel SAW dan seterusnya. Di antara tabel-tabel tersebut biasanya ada data yang sama. Misalnya pada seluruh tabel tertampung data pabrik pembuat elektroda dan pabrik tersebut memproduksi elektroda untuk berbagai proses pengelasan. Dengan demikian nama pabrik tersebut akan tampil pada lebih dari satu tabel atau dengan kata lain tabel-tabel yang memuat nama pabrik tersebut saling terkait.
- **Record.** Secara fisik sebuah tabel tersusun atas banyak baris. Setiap baris menampung satu kesatuan (unit) data yang disebut *record*. Misalnya tabel *filler material* untuk pengelasan GMAW mengandung data berupa spesifikasi elektroda, kelas elektroda, nama pabrik pembuat elektroda, nama produk, tipe elektroda dan *shielding gas* yang sesuai

Sekelompok data lengkap dalam tabel tersebut disebut *record*, misalnya *record* pertama adalah AWS A5.18, ER70S-6, ESAB, OK Autrod 12.51, wire, CO₂ murni. Dan *record* kedua adalah AWS A5.28, ER80S-G, ESAB, OK Autrod 13.09, wire, Ar/20CO₂ dan seterusnya.

- *Field*. Baris-baris *record* dirinci ke dalam kolom-kolom agar penataannya lebih sistematis. Misalnya baris *record* dibagi menjadi beberapa kolom seperti di atas, yaitu: kolom spesifikasi elektroda, kolom kelas elektroda, kolom perusahaan pembuat elektroda, kolom nama produk, kolom tipe elektroda dan kolom *shielding gas* yang sesuai. Kolom spesifikasi elektroda ditempatkan pada urutan pertama, lalu kemudian disusul oleh kolom-kolom berikutnya. Selanjutnya kolom-kolom ini disebut dengan *field*. Jadi, *field* adalah potongan informasi dari suatu *record*. Di dalam sebuah *field* hanya terkandung data yang sejenis saja. Misalnya pada *field shielding gas* tidak akan ada data ESAB ataupun wire melainkan CO₂ murni ataupun Ar/20 CO₂.
- *Domain*. Yang dimaksud dengan *domain* adalah jangka (*range*) nilai suatu *field*. Misalnya domain *field diameter elektroda* adalah dari 0,6 mm sampai 1,6 mm. Masing-masing *field* dalam sebuah tabel memiliki *domain*-nya tersendiri. Antar *field* bisa berbagi *domain*, artinya untuk beberapa *field* yang mirip bisa saja *domain*-nya sama.
- *Primary Key*. Seseorang harus memiliki identitas untuk membedakan dirinya dengan orang lain. Identitas ini harus unik, misalnya nama. Walaupun nama seseorang kebetulan sama persis dengan nama orang

lain, maka diperlukan keterangan tambahan agar mampu membedakan keduanya, maka diperlukan keterangan tambahan agar mampu membedakan keduanya, misalnya tanggal lahir. Kemudian identitas ini bisa diwujudkan dalam bentuk kartu penduduk maupun SIM (Surat Ijin Mengemudi). Demikian juga halnya dengan tabel. Kita harus memberikan nama yang unik pada tabel tertentu, lalu kita juga harus menambahkan keterangan yang menjadikan ciri tabel tersebut. Keterangan tambahan ini biasanya mengacu pada penunjukan sebuah *record* kunci atau *primary key*. Pada sistem yang kompleks di mana terdapat banyak tabel yang memiliki ciri khas hampir sama, diperlukan tambahan *record* kunci sehingga memperjelas perbedaan. *Record* demikian disebut dengan kunci pilihan atau kunci kandidat.

- **Foreign Key** Pada sebuah tabel, bisa jadi mengandung *record* yang merupakan *primary key* dari tabel yang lain. Dalam kasus ini, tabel tersebut disebut dengan *foreign key*.
- **Integrity.** *Integrity* adalah aturan main yang harus ditaati dalam pemakaian *database*. Kita bisa membangun sendiri aturan yang bisa diberlakukan pada hal-hal tertentu yang kita perlukan. Selanjutnya dikenal beberapa macam *integrity* yang mengacu pada sifatnya, antara lain *entity integrity*, *referential integrity*, *domain integrity*, *user-defined integrity*.

III.2.4 BAHASA PEMROGRAMAN DELPHI

Program *computer-aided learning* yang dirancang oleh penulis ini dirancang untuk membantu proses perancangan prosedur pengelasan las busur CO₂. Program ini didesain agar setiap pemakainya dapat dengan mudah mengikuti langkah-langkah perancangan bermacam-macam sambungan las dengan dimensi dan jenis material logam yang berbeda-beda untuk proses pengelasan las busur CO₂ dengan prosedur standar dari *AWS D1.1-98: Structural Welding Code-Steel 16th edition*. Adapun *language software* yang digunakan oleh penulis untuk merancang *application software* ini adalah Delphi.

Delphi adalah perangkat pengembang untuk membangun program aplikasi berbasis Window dengan bahasa pemrograman yang digunakan adalah Object Pascal. Delphi diproduksi oleh Borland International, Inc., sebuah perusahaan software kondang di Amerika Serikat yang telah berpengalaman memproduksi perangkat pengembang andal seperti kelompok Turbo (Turbo Basic, Turbo C, Turbo Prolog, Turbo Assembler atau Turbo Pascal), Visual dBase, Borland C++, Borland Pascal maupun Borland C++ Builder. Object Pascal yang digunakan pada Delphi adalah pengembangan bahasa Pascal yang mempunyai reputasi bagus di dunia pemrograman (Pramono, 1999 a)

Alasan penulis menggunakan *language software* Delphi adalah dengan menggunakan bahasa Delphi waktu pemrograman akan lebih singkat dan penyusunan aplikasinya lebih menyenangkan. Menurut Tim Penelitian dan Pengembangan Wahana Komputer (1997), lahirnya bahasa Delphi tidak terlepas dari pengaruh maraknya trend pemrograman visual akhir-akhir ini. Banyak

pekerjaan yang harus diselesaikan oleh *programmer* kini diambil alih oleh piranti lunak. Konsep semacam ini dikenal sebagai *Rapid Application Development* yang disingkat RAD. Delphi menyediakan bermacam-macam komponen *interface* aplikasi dalam jumlah yang cukup besar dengan berbagai pilihan antara lain berupa tombol, menu *drop-down* maupun menu *pop-up*, kotak teks, kotak gambar, *radiobutton*, *checkbox*, dan masih banyak lagi. Dengan demikian *programmer* tidak perlu lagi pusing menyusun sendiri kode program untuk menggambar komponen-komponen tersebut. *Programmer* hanya perlu memilih komponen-komponen yang dibutuhkan oleh aplikasi, mengatur tampilannya sesuai dengan keinginan, kemudian menuliskan sedikit kode program bagi aplikasi tersebut.

J. D. Hildebrand, editor dari majalah pemrograman "Window Tech Journal" dalam Matcho dan Faulkner (1997) mengatakan bahwa "*Delphi akan mengubah kehidupan kita*". Delphi menggabungkan pemrograman visual dan berorientasi objek ke dalam lingkungan yang memudahkan *programmer*, karena Delphi menyediakan arsitektur yang memungkinkan penggunaan ulang komponen-komponen program. Hal ini menyebabkan pembuatan aplikasi menjadi lebih cepat dan menghasilkan program Window lebih cepat pula, dengan demikian Delphi menjanjikan produk yang baik. Dengan menggunakan Delphi, pembuatan prototipe dan pengembangan aplikasi secara menyeluruh memasuki tahap baru yang revolusioner. Pada saat yang sama *programmer* diberi perangkat pengembangan program visual sehingga *programmer* tingkat pemulapun dapat membuat aplikasi Delphi yang sudah terkompilasi. Dengan Delphi seorang

programmer dapat melakukan pemrograman dengan lebih mudah tanpa mengorbankan kecepatan (Matcho dan Faulkner, 1989).

BAB III

PROSEDUR PENGELASAN

III.1 UMUM

Kebanyakan pekerjaan mekanik dan struktural difabrikasi dan dirakit berdasarkan suatu rencana atau desain. Artinya, seorang perancang harus menggambarkan rencana atau menulis instruksi sebagai pedoman pekerjaan. Gambar-gambar dan instruksi ini dapat bersifat sangat detail maupun umum. Jika dalam sebuah proses produksi dibutuhkan proses pengelasan dan seorang perancang prosedur pengelasan ingin mengontrol pekerjaan pengelasan, maka dia akan merancang suatu "*Welding Procedure Specification (WPS)*" atau "prosedur pengelasan" (Sosnin, 1975).

Elemen-elemen dalam harus diidentifikasi dalam suatu standar yang baku mengingat pengelasan adalah suatu teknologi rekayasa yang telah diterima secara luas. Standardisasi elemen-elemen pengelasan dapat dilakukan dengan menulis suatu prosedur yang secara sederhana dapat didefinisikan sebagai suatu "pekerjaan" atau "rincian elemen-elemen (dengan nilai atau *range* nilai yang ditetapkan) suatu proses atau metoda yang digunakan untuk menghasilkan hasil yang spesifik. Definisi AWS (*American Welding Society*) untuk prosedur pengelasan adalah "*metoda dan praktek terperinci di dalam menghasilkan suatu produk pengelasan.*" Suatu WPS digunakan untuk membuat *record* seluruh elemen, variabel dan faktor yang dilibatkan di dalam menghasilkan suatu produk pengelasan (Cary, 1994)

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (1994) prosedur pengelasan adalah *"suatu perencanaan untuk pelaksanaan pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut"*. Karena itu mereka yang menentukan prosedur pengelasan harus mempunyai pengetahuan yang mendalam tentang teknologi las serta dapat menggunakan pengetahuan tersebut dan mengerti tentang efisiensi dan ekonomi aktivitas produksi. Untuk setiap pelaksanaan pekerjaan harus dibuat prosedur tersendiri secara terperinci, termasuk menentukan alat yang diperlukan yang sesuai dengan rencana pembuatan dan kualitas produksi.

Untuk menyusun prosedur pengelasan perlu diperhatikan variabel-variabel esensial dan non-esensialnya. Faktor penting yang pertama adalah jenis proses pengelasan yang disesuaikan dengan jenis material dan posisi pengelasan. Kemudian dari setiap jenis proses las mempunyai variabel-variabel penting yang khusus.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (1994) prosedur pengelasan akan memberikan hasil yang baik bila sebelumnya telah dibuat rencana tentang jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat-alat yang diperlukan, bahan-bahan, urutan-urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan, perlakuan setelah pengelasan, pengaturan pekerjaan dan lain-lainnya.

Berdasarkan rencana konstruksi biasanya dibuat penjadwalan secara menyeluruh dengan mempelajari urutan perakitan, banyaknya pekerjaan las yang diperlukan, kapasitas dari alat-alat yang ada, kerja yang diperlukan dan lain

sebagainya. Setelah ada prosedur yang terperinci baru ditentukan proses pengelasan yang sesuai, keperluan dan penjadwalan pekerja, mempersiapkan surat perintah kerja dan perencanaan pelaksanaan harian. Dalam pembuatan prosedur ini penentuan proses pengelasan yang dipilih sangat mempengaruhi penjadwalan kerja dan urutan pengerjaan, karena itu harus dipilih dengan hati-hati (Wirsumarto dan Okumura, 1994).

Dalam memilih proses pengelasan harus dititik beratkan pada proses yang paling sesuai untuk tiap-tiap sambungan las yang ada pada konstruksi. Dalam hal ini tentu dasarnya adalah efisiensi yang tinggi, biaya murah, penghematan tenaga dan penghematan energi sejauh mungkin. Proses pengelasan yang dipilih harus sudah ditentukan dalam tahap perencanaan konstruksi. Dalam pemilihan ini sebaiknya dibicarakan antara tiga pihak, yaitu pihak perencana, pihak pelaksana dan pihak peneliti di laboratorium dengan titik berat pada pelaksana. Dalam penentuan ini dengan sendirinya harus dipertimbangkan juga alat yang akan digunakan, latihan bagi pekerja bila diperlukan, persetujuan dari pihak keselamatan kerja, penentuan cara pemeriksaan dan lain sebagainya. Bila proses pengelasan telah ditentukan untuk tiap-tiap sambungan, maka tahap berikutnya adalah menentukan syarat-syarat pengelasan, urutan pengelasan dan persiapan pengelasan. Baru setelah itu harus ditentukan cara-cara menghilangkan deformasi dan laku-panas yang diperlukan (Wirsumarto dan Okumura, 1994).

Prosedur pengelasan digunakan untuk me-*record* elemen-elemen, variabel-variabel dan seluruh faktor yang menentukan dalam merancang sebuah sambungan dengan tujuan agar bentuk dan dimensi tidak banyak berubah, dengan

jalan mengendalikan distorsi yang mungkin terjadi pada saat proses pengelasan dilaksanakan, mengurangi besar *residual stress* (tegangan sisa), meminimumkan perubahan metalurgi yang merugikan sekecil mungkin, sehingga akan didapatkan hasil pengelasan yang sesuai dengan standar kualifikasi pengelasan (Cary, 1994).

Prosedur pengelasan harus diuji atau dikualifikasi dan harus dikomunikasikan kepada mereka yang perlu mengetahuinya, yaitu perancang, inspektur pengelasan, penyelia pengelasan dan terakhir yang paling penting, juru las. Pengujian dan kualifikasi diperlukan dalam perancangan prosedur pengelasan sehingga dapat diketahui apakah prosedur pengelasan yang dirancang telah memenuhi persyaratan standar kualifikasi pengelasannya atau belum. Jika *welding code* dan pekerjaan kualitas tinggi dilibatkan dalam suatu pekerjaan pengelasan, maka prosedur pengelasan menjadi suatu *Welding Procedure Specification* atau WPS, yaitu "*suatu dokumen yang memuat secara detail variabel-variabel yang diperlukan di dalam aplikasi pengelasan yang dapat digunakan berkali-kali oleh juru las dan operator las dengan kemampuan yang sesuai.*"

Dalam beberapa standar kualifikasi yang digunakan mungkin terdapat beberapa perbedaan dalam persyaratan prosedur pengelasan, namun menurut Cary (1994), umumnya prosedur pengelasan terdiri dari tiga bagian antara lain:

1. Detail penjelasan secara tertulis tentang bagaimana pengelasan tersebut dilaksanakan.
2. Sketsa yang menggambarkan desain sambungan dan kondisi untuk setiap *pass* atau *bead*.
3. *Record* hasil pengujian dari lasan yang dihasilkan

Dalam prosedur pengelasan, variabel-variabel yang terdapat di dalamnya dapat dikategorikan sebagai variabel esensial dan non-esensial. Variable esensial adalah variabel-variabel yang harus di-*record* pada saat proses kualifikasi dilaksanakan dan apabila terdapat perubahan terhadap variabel-variabel tersebut, maka prosedur pengelasan itu harus diuji dan dikualifikasi kembali. Variabel non-esensial umumnya tidak begitu berpengaruh terhadap hasil lasan dan apabila terdapat perubahan terhadap variabel non-esensial ini, maka prosedur tersebut tidak perlu diuji dan dikualifikasi kembali.

Adapun variabel-variabel esensial dalam suatu prosedur pengelasan menurut Cary (1994) adalah:

1. Proses atau kombinasi proses dalam pengelasan.
2. Metode aplikasi dalam proses pengelasan (manual, semi-otomatis ataupun otomatis).
3. Jenis *base metal*, spesifikasi dan komposisinya.
4. Dimensi atau ketebalan *base metal*.
5. Persyaratan *pre-heating* dan *post weld heat treatment* pada *base metal*.
6. Posisi pengelasan.
7. *Filler metal* dan *consumable material* lainnya,
8. *Joint type* dan *Weld type*.
9. Parameter-parameter listrik.
10. Teknik pengelasan.

Menurut AWS (1998) perubahan variabel-variabel esensial prosedur pengelasan GMAW yang membutuhkan kualifikasi ulang adalah:

1. Peningkatan klasifikasi kekuatan *filler metal*.
2. Perubahan klasifikasi elektroda yang tidak terdapat pada ANSI/AWS 5.18 atau 5.28.
3. Perubahan (peningkatan atau penurunan) diameter nominal elektroda.
4. Perubahan jumlah elektroda yang digunakan.
5. Perubahan (peningkatan atau penurunan) arus pengelasan lebih dari 10%.
6. Perubahan tipe arus (AC atau DC) ataupun polaritasnya, serta jenis transfer metalnya.
7. Perubahan tegangan pengelasan lebih dari 7% dari tegangan semula untuk setiap diameter elektroda.
8. Perubahan (peningkatan atau penurunan) kecepatan pengumpanan elektroda lebih dari 10% dari kecepatan pengumpanan elektroda semula untuk setiap diameter elektroda (jika arus tidak dikontrol).
9. Perubahan (peningkatan atau penurunan) *travel speed* lebih dari 25% dari *travel speed* semula (kecuali dibutuhkan pengontrolan *heat input*).
10. Peningkatan *heat input* lebih dari 10% dari *heat input* sebelumnya.
11. Terjadinya perubahan komposisi *shielding gas* yang digunakan.
12. Perubahan laju aliran gas (peningkatan $\geq 25\%$ dan penurunan $\geq 10\%$).
13. Perubahan *shielding gas* yang tidak terdapat pada ANSI/AWS 5.18 atau 5.28.

14. Perubahan (peningkatan atau penurunan) jumlah *pass* lebih dari 25% dari jumlah *pass* semula untuk suatu *groove area* dalam PQR (*Procedure Qualification Report*).
15. Perubahan posisi pengelasan yang tidak terkualifikasi Tabel 4.1 ANSI /AWS D.1.1-98.
16. Perubahan diameter pipa/tubular, ketebalan pelat yang tidak terkualifikasi Tabel 4.2 ANSI /AWS D.1.1-98.
17. Perubahan *base metal* atau kombinasi *base metal* yang tidak terdaftar pada PQR atau tidak terkualifikasi Tabel 4.7 ANSI /AWS D.1.1-98.
18. Perubahan arah pengelasan di dalam pengelasan vertikal dari *vertical-up* menjadi *vertical down* atau sebaliknya.
19. Perubahan tipe *groove* (misalnya dari *single-V* menjadi *double-V*).
20. Perubahan tipe *groove* menjadi *square groove* atau sebaliknya.
21. Perubahan yang melampaui toleransi yang diberikan pada poin-poin 3.12, 3.13, 3.13.4, 5.22.4.1 atau 5.22.4.2 pada ANSI/AWS D.1.1-98 yang meliputi:
 - a. pengurangan sudut *groove*
 - b. pengurangan panjang *root opening*
 - c. penambahan panjang *root face*
22. Pembatalan penggunaan *backing* dan *back gouging*.
23. Penurunan temperatur *preheat* lebih dari 25°F (13,9°C).
24. Penambahan atau pembatalan proses *heat treatment*.

Sedangkan yang termasuk di dalam variabel-variabel non-esensial menurut Cary (1994) antara lain:

1. Kecepatan pergerakan (*travel speed*),
2. Arah pergerakan (*travel progression*),
3. Ukuran elektroda atau kawat pengisi (*filler wire*).
4. Detail desain sambungan las (*weld joint design*)
5. Penggunaan *backing* dan tipe *backing material*.

Oleh karena itu dalam merencanakan prosedur pengelasan harus mencakup semua variabel-variabel esensial serta penjelasan tentang urutan semua pekerjaan yang akan dilakukan dengan menggunakan gambar desain sambungan. Bagian terpenting dari perencanaan prosedur pengelasan adalah perencanaan joint detail beserta tabel urutan pengelasan.

Pengujian dilaksanakan untuk menentukan apakah hasil pengelasan yang dilakukan berdasarkan WPS yang dirancang telah memenuhi persyaratan telah memenuhi standar pada *code* atau spesifikasi. Jika setelah dilakukan pengujian ternyata WPS memenuhi persyaratan minimum, maka dokumen WPS akan menjadi *Procedure Qualification Report* atau PQR, yaitu suatu *record* yang mencatat variabel-variabel yang digunakan untuk memproduksi hasil lasan yang lolos dalam pengujian dan hasil pengujian yang dilaksanakan terhadap lasan tersebut untuk melakukan kualifikasi suatu WPS.

Faktor-faktor yang dimasukkan dalam suatu prosedur harus dianggap sebagai pekerjaan pengelasan baru. Dengan pengetahuan dan pengalaman akan didapatkan faktor dan variabel optimal sehingga akan dihasilkan pengelasan yang

terbaik dan paling ekonomis untuk material yang akan dilas dan pada posisi pengelasan yang harus dilakukan. Prosedur pengelasan bersesuaian dengan persyaratan kualitas yang ada.. Jika dibutuhkan prosedur pengelasan yang harus digunakan berkali-kali dan harus memiliki kualitas yang sempurna, maka prosedur akan lebih bersifat teknis dengan persyaratan tambahan, khususnya dalam pengujian. Pengujian akan bersifat lebih kompleks agar dapat menentukan apakah sambungan las (*weld joint*) memiliki properti-properti yang diperlukan sesuai dengan tujuan perancangan sambungan tersebut.

Prosedur pengelasan dirancang untuk menghasilkan kualitas pengelasan tertinggi yang dibutuhkan dengan biaya serendah mungkin. Mencoba proses pengelasan yang berbeda, *joint detail* yang berbeda dan sebagainya sebaiknya dilakukan untuk mendapatkan biaya serendah mungkin namun tetap memenuhi persyaratan (Cary, 1994).

III.1.1 KUALIFIKASI PROSEDUR PENGELASAN

Cary (1994) berpendapat bahwa kualifikasi prosedur pengelasan merupakan suatu proses yang rumit karena istilah-istilah dan definisi-definisi yang berbeda pada *code* dan standar yang ada. Sangat penting untuk mengkonsultasikan edisi *code* atau standar terbaru dan memberi catatan secara terperinci. Suatu prosedur pengelasan adalah "*metoda dan praktek terperinci yang dilibatkan dalam menghasilkan suatu hasil lasan.*" Definisi yang luas ini meliputi dua tipe. Tipe pertama adalah persyaratan legal suatu *code* atau spesifikasi. Tipe kedua adalah petunjuk untuk melaksanakan proses pengelasan khusus. Prosedur tipe ini ditulis

untuk menunjukkan bagaimana pengelasan harus dilaksanakan dan menjaga kualitas pengelasan.

WPS yang diperlukan beberapa *code* menerangkan secara bertahap petunjuk untuk melaksanakan pengelasan khusus dan membuktikan bahwa pengelasan tersebut dapat diterima. Seluruh *code* pengelasan membutuhkan prosedur yang *qualified*. Adalah penting untuk merancang prosedur pengelasan dan melakukan kualifikasi terhadap prosedur tersebut. Semua *code* membutuhkan bukti bahwa juru las dan operator las memiliki keahlian dan kemampuan untuk mengikuti prosedur pengelasan dengan baik. Mereka harus melakukan pengelasan khusus untuk membuktikan bahwa mereka memiliki kualitas yang dibutuhkan.

III.1.2 PROCEDURE QUALIFICATION REPORT

Untuk mendukung WPS, perlu dilakukan pengujian dan sertifikasi hasil lasan. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengelasan sesuai WPS, kemudian melakukan permesinan (*machining*) terhadap hasil pengelasan tersebut dan melaksanakan pengujian terhadap spesimen berdasarkan *code*. Data yang dimasukkan ke dalam *Procedure Qualification Report* (PQR), yang didefinisikan sebagai suatu dokumen yang *me-record* variabel-variabel pengelasan sesungguhnya yang digunakan agar dapat menghasilkan pengelasan yang lolos pengujian di mana hasil pengujian yang dilaksanakan untuk mengkualifikasi WPS. Kebanyakan data yang terdapat dalam PQR sama seperti informasi yang terdapat dalam WPS. *Record* hasil pengujian pada PQR mengkualifikasi WPS agar memenuhi persyaratan yang terdapat pada *code*. Semua perubahan pada PQR

membutuhkan sertifikasi ulang oleh pamanufaktur atau kontraktor. Adalah perlu untuk memiliki WPS-WPS dan PQR-PQR khusus untuk perbendaharaan proses pengelasan, kombinasi proses pengelasan, jenis *base metal* yang berbeda dan sebagainya untuk disesuaikan dengan variabel-variabel pengelasan yang dilibatkan. Setiap proses dan *base metal* yang digunakan harus termasuk dalam WPS dan dikualifikasi PQR (Cary, 1994).

III.1.3 AWS D.1.1-98: STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL.

AWS Structural Welding Code meliputi persyaratan opengelasan yang dapat dipraktekan pada struktur yang penyambungannya dengan cara pengelasan. *Code* ini mengizinkan penggunaan prosedur pengelasan *prequalified*. Prosedur pengelasan *prequalified* adalah prosedur yang dibebaskan dari pengujian jika pengujian tersebut sesuai dengan peraturan yang terdapat dalam persyaratan *code*. Sambungan las *prequalified* tidak bertujuan sebagai pengganti *engineering judgement* atau kecocokan aplikasi-aplikasi sambungan las. *Code* ini mensyaratkan pamanufaktur atau kontraktor menyiapkan spesifikasi prosedur tertulis untuk prosedur pengelasan sambungan yang digunakan yang berupa *record* material dan variabel-variabel pengelasan yang menunjukkan bahwa prosedur pengelasan telah memenuhi persyaratan status *prequalified*, maka dari itu perlu disiapkan spesifikasi prosedur peneglasan yang meliputi pekerjaan yang harus dilaksanakan dengan persyaratan *AWS Structural Welding Code* (Cary, 1994).

III.1.3.1 RUANG LINGKUP AWS D1.1-98

AWS D1.1-98: Structural Welding Code-Steel meliputi persyaratan-persyaratan untuk *fabricating and erecting welded steel structures*. Jika *code* ini diajukan sebagai persyaratan dalam dokumen-dokumen kontrak, kesesuaian dengan seluruh pasal-pasal persyaratan *code* ini yang dibutuhkan, kecuali untuk pasal-pasal yang telah diubah oleh *engineer* dan dokumen kontrak yang secara khusus diubah atau dibebaskan.

Adapun ringkasan bagian-bagian yang terdapat dalam *code* ini adalah:

1. **Persyaratan Umum.** Bagian ini terdiri dari informasi utama pada ruang lingkup dan batasan-batasan *code* ini.
2. **Desain Sambungan Las.** Bagian ini terdiri dari persyaratan-persyaratan sambungan-anibungan las yang terdiri dari *tubular* dan *non tubular, product form members*.
3. **Prequalification.** Bagian ini terdiri dari persyaratan untuk membebaskan WPS dari persyaratan kualifikasi *code* ini.
4. **Kualifikasi.** Bagian ini terdiri dari persyaratan kualifikasi untuk WPS-WPS dan personel pengelasan (juru las, operator las, *tack welders*) yang melaksanakan pekerjaan pengelasan sesuai *code* ini.
5. **Fabrikasi.** Bagian ini terdiri dari persyaratan untuk *preparation, assembly* dan *workmanship* dari *welded steel structures*.
6. **Inspeksi.** Bagian ini terdiri dari kriteria untuk kualifikasi dan tanggung jawab inspektor, kriteria hasil pengelasan dan prosedur standar untuk

melaksanakan inspeksi visual dan pengujian tak merusak atau *Non Destructive Testing* (NDT).

7. **Pengelasan Stud.** Bagian ini terdiri dari persyaratan untuk pengelasan *stud* pada struktur baja.
8. **Penguatan dan Reparasi Struktur.** Bagian ini terdiri dari informasi dasar sehubungan dengan modifikasi pengelasan atau reparasi struktur yang telah berdiri.

III.1.3.2 BATASAN AWS D1.1-98

AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel tidak ditujukan untuk hal-hal berikut ini:

1. Baja dengan *yield strength* minimum lebih dari 100 ksi (690 Mpa).
2. Baja dengan ketebalan kurang dari 1/8 inci (3.2 mm).
3. *Pressure vessel* dan *pressure piping*.
4. *Base metal* selain *carbon* dan *low alloyed steel*.

III.2 BASE METAL

Proses pengelasan GMAW dapat digunakan untuk pengelasan hampir semua logam. Khusus untuk las busur CO₂ terbatas hanya untuk baja (*steel*) saja. Elektroda yang digunakan harus sesuai dengan *base metal* yang akan dilas (lihat Tabel 3.1). Proses pengelasan GMAW juga dapat digunakan untuk *surfacing* dan untuk melapisi logam khusus pada permukaan poros, permukaan anti korosi dan sebagainya.

Ketebalan logam dari 0.005 inci (0.13 mm) ke atas dapat dilas dengan proses GMAW. Jenis transfer metal *short-circuiting* dan *pulsed arc* digunakan untuk pengelasan material yang lebih tipis pada semua posisi. Material yang lebih tebal dapat dilas dengan las busur CO₂ yang menggunakan elektroda berukuran lebih besar. *Weld groove* dan teknik *multiple pass* membuat range ketebalan proses pengelasan ini menjadi luas (lihat Tabel 3.2). Keunggulan-keunggulan yang terdapat pada proses pengelasan ini memungkinkan pengelasan dilakukan pada material yang tipis sampai yang tebal.

Base Metal	Short-Circuiting Arc	Spray Arc	Globular (CO ₂)	Pulse Arc
Aluminums	No	Yes	No	Yes
Bronzes	No	Yes	No	Yes
Copper	No	Yes	No	Yes
Copper nickel	No	Yes	No	Yes
Cast iron	Yes	No	No	—
Magnesium	No	Yes	No	Yes
Inconel	No	Yes	No	Yes
Nickel	No	Yes	No	Yes
Monel	No	Yes	No	Yes
Low carbon steel	Yes	Yes	Yes	—
Low-alloy steel	Yes	Yes	Yes	—
Medium-carbon steel	Yes	Yes	Yes	—
Stainless steel	Yes	Yes	No	—
Titanium	No	Yes	No	—

Tabel 3.1 Logam-logam yang dapat dilas dengan proses pengelasan GMAW (Cary, 1994)

Thickness	inch	.005	.015	.062	.125	3/16	1/4	3/8	1/2	3/4	1	2	4	8
	mm	.13	.4	1.6	3.2	4.8	6.4	10	12.7	19	25	51	102	203
Single pass no prep. fine wire				←→										
Single pass prep.				←→										
Multi pass					←→									

Tabel 3.2 Range ketebalan base metal untuk pengelasan GMAW (Cary, 1994)

Material yang banyak digunakan untuk konstruksi dan peralatan konstruksi serta peralatan transportasi dan berbagai industri adalah baja karbon (*carbon steel*)

dan baja paduan rendah (*low alloyed steel*). Persentase material ini 90% lebih dari seluruh jumlah baja yang diproduksi, terutama baja karbon yang lebih banyak digunakan dibandingkan jenis yang lainnya (The Lincoln Electric Co., 1973).

Kebanyakan baja dapat dilas, tetapi hasil yang memuaskan belum tentu dapat dihasilkan untuk semua grade baja. Logam dikatakan memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang baik jika logam tersebut dapat dilas tanpa kesulitan yang berarti atau tanpa memerlukan prosedur khusus yang mahal dan sambungan las yang dihasilkan memiliki kualitas yang disyaratkan standar. Dengan grade, komposisi kimia dan sifat-sifat mekanis dari baja yang berbeda, maka sifat kemampuan las juga akan berbeda. Jika penyambungan dengan proses las merupakan metode yang dipilih untuk suatu produksi, maka kemampuan las merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan, dengan memberikan perhatian pada pemilihan pada material yang akan digunakan (The Lincoln Electric Co., 1973).

Beberapa metode digunakan untuk melakukan identifikasi dan spesifikasi baja, antara lain berdasarkan komposisi kimia, sifat-sifat mekanis, kemampuan memenuhi persyaratan suatu standar tertentu atau kemampuan untuk difabrikasi menjadi jenis produk tertentu. Cara yang dilakukan untuk melakukan spesifikasi material berdasarkan komposisi kimia, yaitu dengan memberikan batas maksimum, batas minimum atau rentang harga yang masih dapat diterima terhadap setiap unsur kimianya. Beberapa unsur kimia yang berpengaruh pada sifat kemampuan las dan sifat-sifat baja tersebut antara lain : Karbon (C), Mangan

(Mn), Belerang (S), Silikon (Si), Fosfor (P), Tembaga (Cu), Krom (Cr), Nikel (Ni) dan lain-lain.

- **Karbon.** Karbon adalah unsur utama yang memberikan sifat kekerasan pada baja. Jika kadar karbon meningkat, maka kekerasan dan kuat tariknya juga meningkat namun keuletan (*ductility*) dan kemampulasan menurun. Pada baja dengan kadar karbon lebih besar dari 0.25% jika laju pendinginan yang terjadi cepat, maka menghasilkan material yang keras dan getas. Penambahan sejumlah kecil elemen selain karbon akan menghasilkan kuat tarik yang tinggi tanpa mempengaruhi sifat kemampulasan. Pada umumnya kadar karbon harus kecil supaya kemampulasan tinggi.
- **Mangan.** Mangan dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan material, namun peranan mangan kurang dibanding dengan karbon. Kadar Mn kurang dari 0.3% akan menyebabkan porositas internal dan retak, demikian pula jika kadarnya melebihi 0.8%. Untuk mendapatkan kemampulasan yang baik perbandingan antara Mn dan S harus sekurang-kurangnya 10 : 1. Pada baja, unsur Mn akan mengikat S menjadi senyawa MnS yang sifatnya berbahaya karena menimbulkan retak panas. Pada umumnya jika kadar Mn naik akan meningkatkan laju penetrasi karbon selama karburasi dan menguntungkan untuk proses penyelesaian akhir permukaan baja karbon.
- **Belerang.** Belerang digunakan untuk memberikan sifat mampu mesin (*machinability*) terhadap baja, namun mengurangi keuletan (*ductility*) transversal, ketangguhan terhadap *impact* dan sifat kemampulasan. Belerang juga mengakibatkan baja cepat panas (*hot short*). Kadar belerang yang masih

berada dalam batas toleransi adalah 0.035% (dengan kadar Mn yang cukup), sedangkan jika melebihi 0.5% akan mengakibatkan masalah yang serius. Belerang juga akan menurunkan kualitas permukaan pada baja dengan karbon rendah dan Mn rendah. Sifat belerang yang merugikan adalah terbentuknya senyawa besi sulfida yang menyebabkan segregasi/pemisahan, sehingga mudah terjadi retak.

- **Silikon.** Silikon yang memiliki sifat deoksidator ditambahkan selama pembuatan baja untuk memperoleh kehalusan. Selain itu, belerang juga meningkatkan kekuatan dan kekerasan, namun peranannya lebih kecil bila dibandingkan dengan Mn. Untuk mendapatkan kemampulan yang baik, kadar Si sebaiknya tidak melebihi dari 0.1%.
- **Fosfor.** Fosfor dengan kadar yang tinggi akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan, tetapi akan mengurangi kekenyalan dan kekuatan *impact*, khususnya pada baja karbon yang agak tinggi. Pada baja karbon rendah, fosfor akan meningkatkan sifat kemampumesinan dan ketahanan terhadap korosi. Fosfor merupakan elemen yang menyebabkan ketidakmurnian (*impurities*), sehingga kadarnya harus dijaga sekecil mungkin. Dengan kadar yang melebihi 0.04% akan menyebabkan lasan menjadi getas dan cenderung untuk terjadi retak. Fosfor juga menyebabkan tegangan permukaan yang rendah pada cairan logam las, sehingga pada proses pengelasannya sulit untuk dikendalikan.

- **Tembaga (Cu)** meningkatkan ketahanan terhadap korosi jika kadarnya sedikitnya 0.15%. Namun apabila kadarnya melebihi 0.5% akan mengurangi sifat-sifat mekanisnya.

Spesifikasi material berdasarkan sifat mekanis, biasanya dilakukan dengan uji mekanis yang mengacu pada beberapa standar pengujian material seperti ASTM, ASME, API dan lain-lain. Pengujian mekanis yang umum digunakan adalah uji tekuk (*bending test*), uji pukul (*impact test*), uji tarik (*tensile test*) dan uji kekerasan (*hardness test*).

Klasifikasi **baja karbon** dibagi menjadi : kelompok baja karbon rendah (kadar karbon sampai dengan 0.3%), baja karbon menengah (kadar karbon 0.3% sampai dengan 0.45%), baja karbon tinggi (kadar karbon lebih dari 0.45%). Kelompok baja karbon rendah masih dibagi lagi menjadi baja karbon sangat rendah (sampai dengan 0.15%) dan *mild steel* (0.15% - 0.3%).

- **Baja karbon rendah.** Baja karbon rendah dapat disambung dengan menggunakan berbagai jenis proses pengelasan yang umum. Jenis baja ini biasanya digunakan untuk tangki, struktur, vessel, dasar mesin, peralatan pertanian dan lain-lain. Baja ini memiliki kemampuan yang tinggi, tetapi dengan adanya elemen Mn (0.3%) akan cenderung untuk terjadi porositas. Kondisi ini dapat diatasi dengan mengubah kecepatan pengelasan menjadi lebih rendah. Walaupun hampir setiap pengelasan dengan material ini tidak memerlukan *preheating*, tetapi untuk ketebalan material yang lebih besar dari 2 inci tetap memerlukan proses *preheating*.

- **Baja karbon menengah dan tinggi.** Baja karbon menengah dan tinggi memiliki tingkat kekerasan, tahan aus, dan kekuatan yang lebih tinggi. Penggunaan jenis baja karbon menengah adalah untuk plat, pegas, rel kereta api, bulldozer dan alat-alat pertanian. Baja karbon menengah dapat dilas dengan baik, tetapi memerlukan prosedur tambahan dengan memberikan temperatur *preheating* dan *interpass*, serta kadangkala memerlukan *stress relieving*. Baja karbon tinggi banyak digunakan untuk material tools, mata bor, mata pisau dan bagian-bagian peralatan yang tahan aus. Untuk mengelas material ini diperlukan prosedur khusus, yaitu pemberian *preheating*, *interpass temperature* dan *stress relieving*, di mana suhu yang diperlukan tergantung pada kadar karbon dan elemen paduan lainnya, bentuk dan ukuran dari baja tersebut.
- **Baja paduan rendah.** Baja paduan rendah merupakan baja yang dipadukan dengan sejumlah kecil elemen-elemen seperti Nikel (Ni), Krom (Cr), dan Molybdenum (Mo) untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan ketangguhan atau untuk ketahanan terhadap panas, korosi dan kondisi lingkungan lainnya. Peningkatan sifat-sifat tersebut akan mempengaruhi sifat kemampuan dan sifat pengerjaan lainnya. Secara umum pengelasan material baja paduan rendah harus dilakukan dengan mengontrol prosedur dan pemilihan *filler metal* secara cermat.

AWS tidak menyebutkan spesifikasi material baja untuk struktur secara detail, tetapi memberikan informasi umum mengenai hal tersebut dari beberapa standar seperti ASTM, API dan ABS. Untuk mengetahuinya secara detil, standar

material seperti ASTM, API dan ABS yang memberikan spesifikasi material-material tersebut, baik berupa sifat-sifat mekanis maupun komposisi kimianya.

Kebanyakan material-material yang tercantum dalam standar AWS memiliki sifat kempulasaan (*weldability*) yang cukup baik, hanya beberapa saja yang memerlukan prosedur khusus seperti batas masukan panas, suhu minimum *preheat* dan suhu antar lapis.

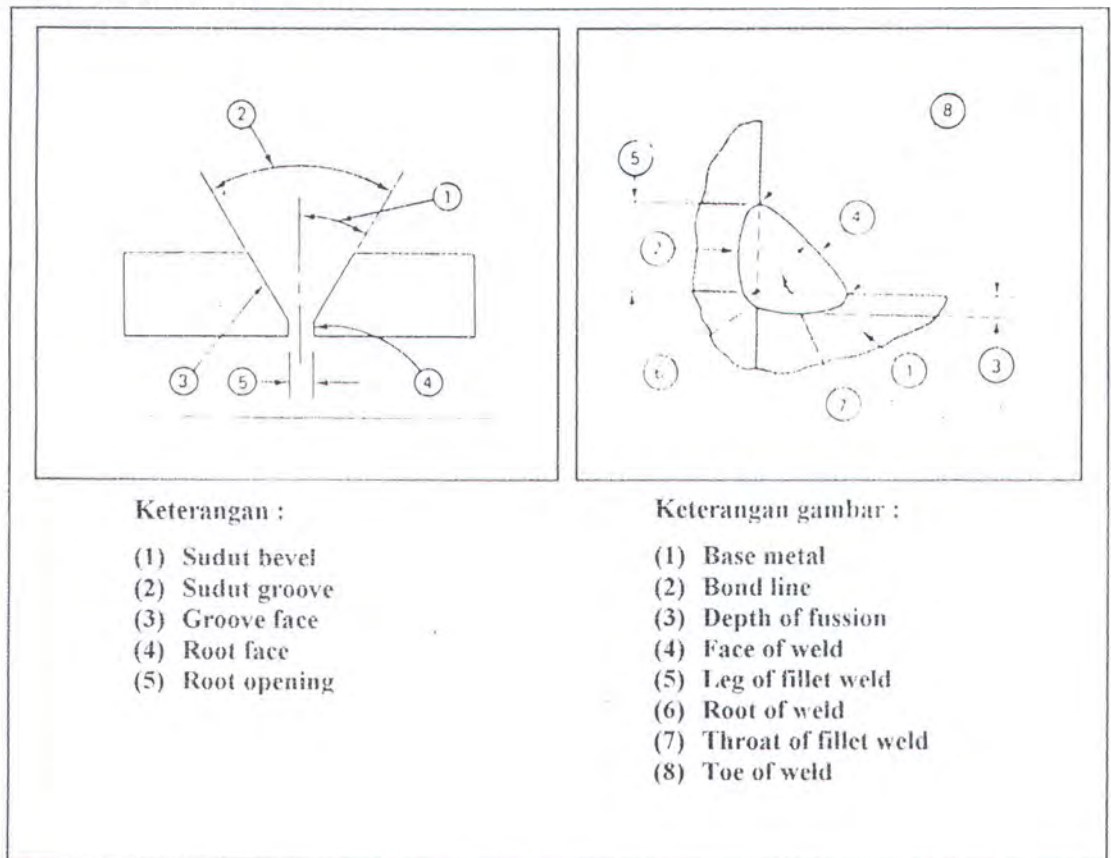
III.3 PERANCANGAN SAMBUNGAN

Perencanaan desain sambungan yang sesuai dengan standar merupakan hal yang penting di dalam pengelasan. Salah satu pertimbangan dalam merencanakan desain sambungan adalah fungsi dari bagian yang disambung, karena konfigurasi sambungan sangat ditentukan oleh beban yang bekerja padanya, baik itu beban *compression*, *tension*, *impact* ataupun beban *fatigue*. Biaya, tebal material, mesin las yang digunakan serta kemampuan tukang las untuk mengelas pada posisi tertentu merupakan faktor lain yang juga perlu dipertimbangkan dalam merancang sambungan.

Menurut Politeknik Perkapalan ITS (1992) untuk mendapatkan suatu desain optimal ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Persyaratan umum atau spesifikasi, mutu (kekuatan) yang diinginkan.
2. Bentuk dan ukuran konstruksi las.
3. Tegangan yang timbul akibat pengelasan maupun tegangan-tegangan yang diperhitungkan akan timbul akibat adanya pembebanan dari luar.
4. Jenis proses pengelasan yang digunakan.

Menurut Cary (1994) jenis sambungan yang sering digunakan adalah *butt joint*, *tee joint*, *corner joint*, *lap joint* dan *edge joint*. Di antara lima jenis sambungan ini *butt joint* dan *tee joint* adalah yang paling sering digunakan. Bentuk sambungan las yang terjadi pada *butt joint* disebut *groove*, sedangkan pada *tee joint* disebut *fillet*.


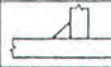


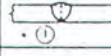
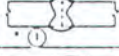

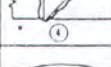

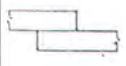
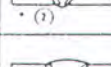

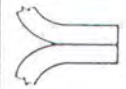
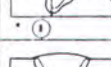



Gambar 3.1 Bentuk sambungan groove dan fillet
(Cary, 1994)

Karena adanya pertimbangan kekuatan dan ekonomi, maka dari dua tipe bentuk sambungan las ini dikembangkan menjadi *square butt joint*, *single vee butt joint*, *single U butt joint*, *double vee butt joint*, *double U butt joint*, *square tee*

joint, single bevel tee joint, single J tee joint, double bevel tee joint, double J tee joint.

Square butt joint digunakan pada material dengan ketebalan maksimum 3/8 inci dengan penetrasi penuh. Tipe sambungan ini sangat kuat terhadap beban tekan murni atau *static tension* tanpa beban tekuk atau *bending* pada akar atau *root*-nya. Sambungan ini tidak dapat digunakan pada struktur yang menerima beban *impact*, *fatigue* serta beban *impact* pada temperatur rendah.

TYPES of JOINTS		TYPES of WELDS	
		Single	Double
Butt	 (B)		
Tee	 (T)		
Corner	 (C)		
Lap	 (L)		
Edge	 (E)		

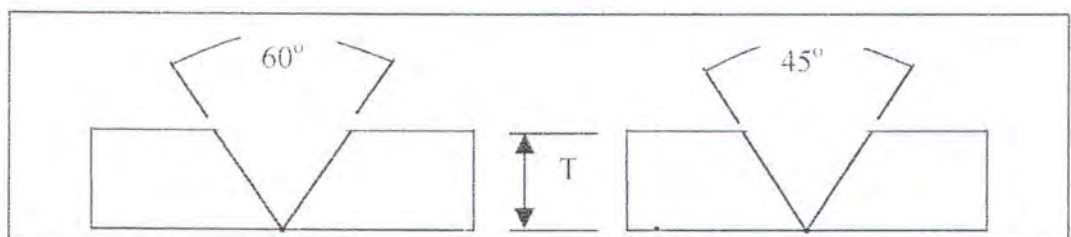
Gambar 3.2. Tipe-tipe sambungan
(The Lincoln Electric Company, 1973)

Single vee butt joint digunakan pada material dengan ketebalan lebih besar dari 3/8 inci. Tipe sambungan ini lebih banyak memakan elektroda, sangat kuat terhadap beban statis namun tidak kuat terhadap beban majemuk. *Double vee butt joint* dapat digunakan untuk semua jenis beban. Dengan pengelasan penetrasi penuh akan didapatkan kekuatan las maksimum. Pemakanan elektroda lebih banyak daripada *single vee butt*, hal ini dapat diatasi dengan pengelasan pada tiap sisinya secara bergantian.

Single U butt joint dapat digunakan pada sambungan dengan beban yang bervariasi. Digunakan pada ketebalan material $\frac{1}{2}$ inci sampai $\frac{3}{4}$ inci. *Double U butt joint* digunakan pada material dengan ketebalan $\frac{3}{4}$ inci atau lebih.

Single bevel tee joint digunakan pada sambungan *tee* dengan ketebalan lebih kecil atau sama dengan $\frac{1}{2}$ inci. Pengelasan dilakukan pada satu sisi. *Double bevel tee joint* mampu menaahan beban *longitudinal shear* ataupun *transverse shear*. *Single J tee joint* digunakan pada material dengan ketebalan lebih atau sama dengan 1 inci. Pengelasan dilakukan pada satu sisi. *Double J tee joint* digunakan pada material dengan ketebalan lebih dari atau sama dengan $1 \frac{1}{2}$ inci, pengelasan dilakukan pada dua sisi.

Menurut Cary (1994) proses pengelasan GMAW dapat diterapkan pada detail desain sambungan yang digunakan untuk SMAW. Untuk memaksimalkan faktor ekonomi dan faktor efisiensi, pengelasan *groove* harus dimodifikasi. Pada GMAW, diameter elektroda yang digunakan lebih kecil daripada diameter elektroda pengelasan SMAW, karena itu sudut *groove* dapat dikurangi (lihat gambar 3.3). Walaupun sudut *groove* dikurangi, namun elektroda dapat tetap diarahkan ke *root*, sehingga penetrasi yang sempurna tetap dapat dihasilkan.



Gambar 3.3 Perbedaan desain sambungan las untuk GMAW (Cary, 1994)

Perbedaan variasi pengelasan membutuhkan perhatian khusus berkaitan dengan desain pengelasan. Las busur CO₂ memberikan kualitas penetrasi yang dalam dan pada pengelasan *fillet*, ukuran *fillet* dapat dikurangi. Penggunaan gas mulia pada logam *non-ferrous* dapat menggunakan *standard joint detail* yang disarankan untuk pengelasan SMAW, namun sudut *groove* harus dikurangi. Desain sambungan untuk pengelasan pipa pada pengelasan SMAW atau *gas welding* dapat digunakan untuk pengelasan GMAW (Cary, 1994).

III.4 DENSITAS ARUS

Menurut Giachino (1971), untuk setiap diameter elektroda *wire*, arus yang digunakan memiliki *range* yang luas, sehingga memungkinkan dilakukan pengelasan logam dengan ketebalan bervariasi tanpa harus mengganti diameter *wire*. Besar arus yang tepat untuk digunakan pada suatu sambungan harus selalu ditentukan dengan percobaan. Besar arus yang dipilih harus cukup tinggi untuk mendapatkan penetrasi yang diinginkan tanpa menyebabkan *cold lapping*, selain itu besar arus juga harus cukup rendah agar tidak terjadi cacat *undercutting* dan *burn through*.

Istilah “arus” memiliki arti *densitas arus (current density)*. Densitas arus adalah ampere setiap inci kuadrat luas penampang melintang elektroda. Maka, pada suatu ampere pengelasan yang sama, densitas arus untuk elektroda berdiameter 0.30” lebih tinggi daripada densitas arus elektroda berdiameter 0.45”. Densitas arus dihitung dengan cara membagi arus pengelasan dengan luas penampang elektroda. Setiap tipe dan ukuran elektroda *wire* memiliki nilai

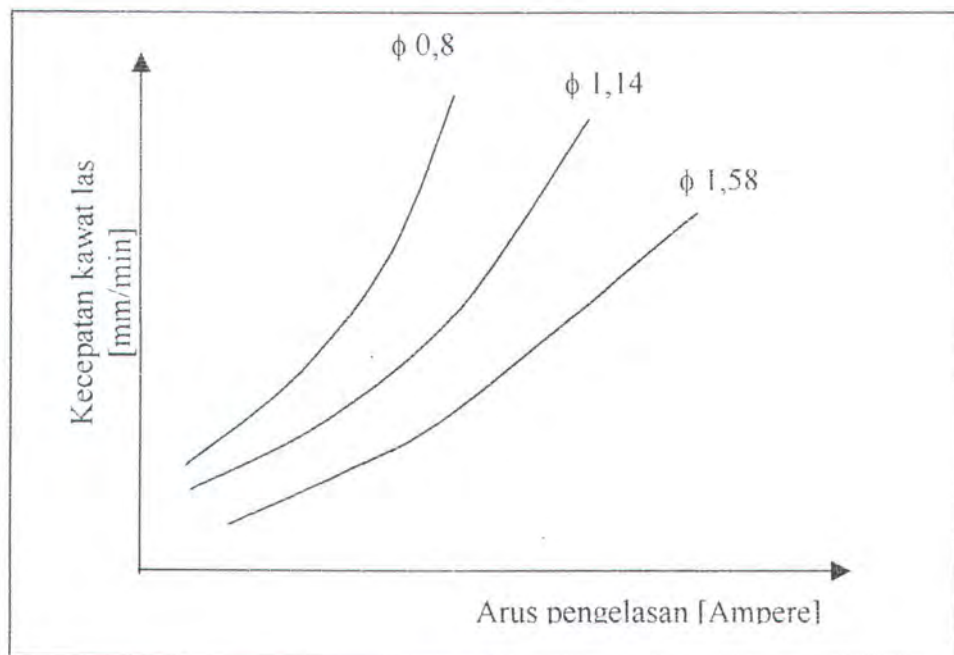
densitas arus minimum dan maksimum. Hasil pengelasan yang memuaskan tidak akan didapatkan apabila densitas arus elektroda tidak sesuai dengan batas nilai minimum dan maksimum. Kesuksesan pengelasan GMAW tergantung konsentrasi densitas arus yang tinggi pada ujung elektroda. Elektroda pengelasan GMAW aliran busurnya tajam dan memiliki penetrasi dalam, sedangkan elektroda pengelasan SMAW lebih halus dan melebar ke samping, konsekuensinya rasio lebar-kedalaman pengelasan GMAW lebih rendah daripada pengelasan SMAW (Giachino, 1971).

Menurut Cary (1994), proses pengelasan GMAW menggunakan arus searah. Arus bolak-balik tidak memberikan hasil yang baik untuk proses pengelasan ini. Polaritas arus searah yang digunakan adalah polaritas balik, yaitu elektroda positif (DCEP) atau *DC reserve polarity* (DCRP). Polaritas searah atau elektroda negatif (DCEN) atau DCSP dapat digunakan dengan elektroda *wire* berlapis *emissive* khusus yang dapat membuat emisi elektron lebih baik. DCEN jarang digunakan karena pemakaian elektroda jenis ini tidak populer.

Jenis pengelasan busur pendek menjadi populer ketika mesin las sistem voltase konstan diperkenalkan. Sistem ini mengurangi kerumitan sirkuit kontrol pengumpanan *wire* dan mengurangi efek *electrode burn back* pada ujung kontak atau *stutting* pada pengelasan. Sistem ini juga menyebabkan penyalaan busur menjadi lebih mudah. Jenis arus pulsa (*pulsed-current*) membutuhkan mesin las khusus yang dapat merubah arus dari arus rendah menjadi arus tinggi sampai dua kali lipat dalam frekwensi 50 atau 60 Hz dan 100 atau 120 Hz. Besar arus dapat

bervariasi dari 20 Ampere dengan voltase 18 Volt sampai sebesar 750 Ampere dengan voltase 50 Volt.

Menurut Politeknik Perkapalan ITS (1992) dalam proses pengelasan GMAW, besar arus pengelasan langsung berhubungan dengan kecepatan las, sehingga penambahan atau pengurangan kecepatan kawat las berbanding lurus dengan besar arus pengelasan. Pada gambar 3.4 ditunjukkan perbandingan kecepatan kawat las dengan besar arus pengelasan untuk elektrode ER70S-3.

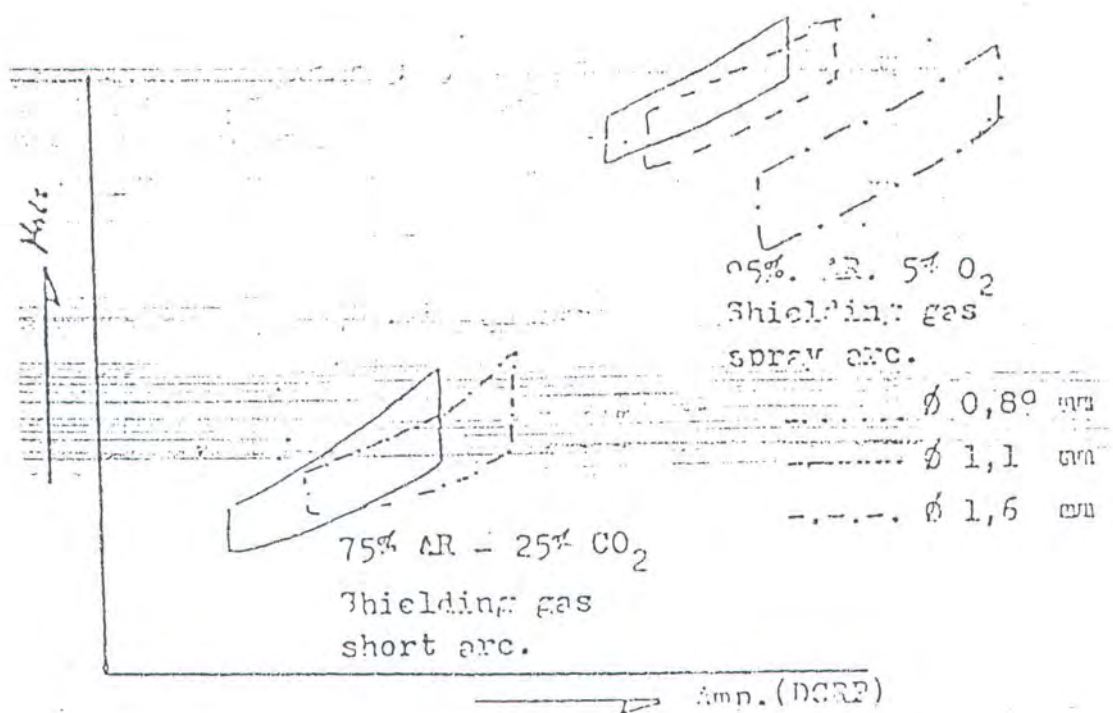


Gambar 3.4 Perbandingan kecepatan las dan besar arus pengelasan (Politeknik perkapalan ITS, 1992a)

III.5 VOLTASE

Voltase busur diukur dari ujung elektroda dengan benda kerja. Voltase mempunyai pengaruh yang penting terhadap proses pemindahan logam (metal transfer) yang diinginkan. Sebagai contoh, *short arc welding* membutuhkan voltase yang lebih tinggi. Gambar 3.5 adalah hubungan antara voltase busur

dengan arus las (*welding current*) untuk pengelasan baja karbon dengan menggunakan gas-gas campuran. Untuk melaksanakan operasi pengelasan yang baik, penambahan voltase busur harus disertai dengan penambahan ampere pengelasan (Politeknik Perkapalan ITS, 1992).



Gambar 3.5 Hubungan voltase busur dan arus pengelasan untuk kestabilan busur proses short arc dan spray arc untuk pengelasan baja karbon (Politeknik Perkapalan ITS, 1992)

III.6 ELEKTRODA DAN SHIELDING GAS

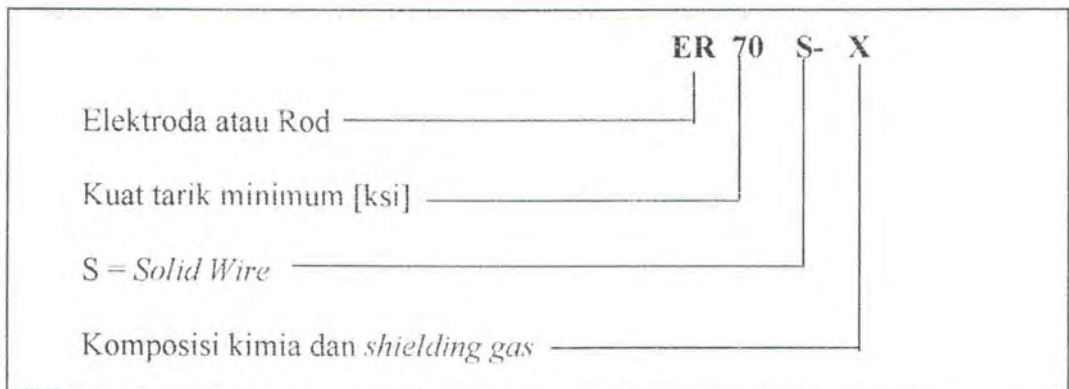
Menurut Cary (1994) terdapat dua *consumable material* yang digunakan pada mesin las GMAW, yaitu elektroda dan *shielding gas*. Kedua *consumable material* tersebut harus diseleksi dengan cermat sesuai dengan *base metal* yang

akan dilas dan proses pengelasan yang digunakan. Elektroda *wire* yang dipakai selain harus memenuhi persyaratan kekuatan, juga harus sesuai komposisinya dengan komposisi kimia *base metal*. Berikut ini adalah beberapa faktor menentukan material pemilihan elektroda, yaitu:

- **Material induk yang akan di las.** Komposisi kimia dan properti mekanis *base metal* merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan.
- **Ketebalan dan desain sambungan.** *Base metal* yang lebih tebal dan desain sambungan yang kompleks membutuhkan *filler metal* yang menghasilkan *weld metal* dengan keuletan atau *ductility* tinggi.
- **Kondisi permukaan.** Permukaan *base metal* yang bersisik, berkarat dan sebagainya memiliki efek penting terhadap elektroda *wire* yang digunakan.
- **Spesifikasi dan *service condition*.** Spesifikasi menentukan elektroda yang digunakan. Jika spesifikasi dapat diabaikan, pertimbangkan *service requirements* yang disyaratkan pengelasan.

III. 6.1 ELEKTRODA

AWS telah menyediakan spesifikasi untuk elektroda yang digunakan dalam pengelasan GMAW. Sistem klasifikasi AWS untuk pengelasan baja karbon ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Aturan penamaan AWS untuk elektroda wire pejal (Cary, 1994)

Huruf “E” menunjukkan elektroda, huruf “R” menunjukkan bahwa elektroda ini sebuah *rod*. Dua digit berikutnya menunjukkan kuat tarik minimum dalam satuan ksi. Elektroda baja karbon besarnya adalah 70. Untuk baja paduan rendah dapat mencapai 80 atau lebih. Digit berikutnya, yaitu huruf “S” menunjukkan bahwa elektroda *wire* ini pejal (*solid*). Digit terakhir (X) setelah tanda strip (-) menunjukkan *shielding gas* atau komposisi kimianya. Data-data properti mekanis elektroda untuk pengelasan GMAW dirangkum dalam 3.3. Sedangkan komposisi kimia elektroda-elektroda tersebut terdapat pada tabel 3.4. Ukuran elektroda tergantung posisi pengelasan dan variasi proses.

Tabel 3.3 Daftar elektroda baja karbon untuk GMAW
(Cary, 1994)

IDENTIFICATION AWS Classification	WELDING CONDITIONS		STRENGTH REQUIREMENTS (AS WELDED)			
	Current Electrode Polarity	External Gas Shield	All Tensile (min. psi)	Weld Yield (min. psi)	Metal El.% (min. 2 in.)	Impact Test Charpy V
E70S-2	DCEP	CO ₂	72,000	60,000	22	20(a) -20°F
E70S-3	DCEP	CO ₂	72,000	60,000	22	20(a) 0°F
E70S-4	DCEP	CO ₂	72,000	60,000	22	Not required
E70S-5	DCEP	CO ₂	72,000	60,000	22	Not required
E70S-6	DCEP	CO ₂	72,000	60,000	22	20(a) -20°F
E70S-7	DCEP	CO ₂	72,000	60,000	22	20(a) -20°F
E70S-G	Not specified	Not specified	72,000	60,000	22	Not required

Note: P-0.025 max.; S-0.035 max. Shielding gas may be argon-CO₂ or argon-O₂ mixture.

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Elektroda GMAW
(Cary, 1994)

Identification	CHEMICAL COMPOSITION					
AWS Classification	C	Mn	Si	Other		
E70S-2	0.6		0.40 to 0.70	Ti-0.05 to 0.15	Zr-0.02 to 0.12	Al-0.05 to 0.15
E70S-3	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.70			
E70S-4	0.07 to 0.15		0.65 to 0.85			
E70S-5	0.07 to 0.19		0.30 to 0.60	Al-0.50 to 0.90		
E70S-6	0.07 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15			
E70S-7	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00	0.50 to 0.80			
E70S-G	No chemical requirements					

Faktor pemilihan *shielding gas* tergantung pada elektroda, *base metal*, posisi pengelasan dan variasi proses pengelasan serta kualitas hasil pengelasan yang diinginkan. Untuk menentukan pemilihan variasi proses pengelasan, seorang perancang prosedur pengelasan harus mengetahui kemampuan dan penggunaan umum setiap variasi proses pengelasan. Tabel 3.5 menunjukkan variasi proses pengelasan, tipe *metal transfer* untuk baja, kapabilitas posisi pengelasan dan *shielding gas* yang dianjurkan.

Tabel 3. 5 Variasi proses pengelasan GMAW
(Cary, 1994)

Metal Transfer	Globular	Short Circuiting	Spray	Pulsed Spray
Shielding gas	CO ₂	CO ₂ or CO ₂ + argon (C-25)	Argon + oxygen (1-5%)	Argon + oxygen (1-5%)
Metals to be welded	Low-carbon and medium-carbon steel—low-alloy high-strength steels	Low-carbon and medium-carbon steels—low-alloy high-strength steels—some stainless steels	Low-carbon and medium-carbon steels—low-alloy high-strength steels	Aluminum, nickel, steels, nickel alloys
Metal thickness	10 gauge (0.140 in.), up to 1/2 in. without level preparation	20 gauge (0.038 in.), up to 1/2 in.; economical in heavier metals for vertical and overhead welding	1/4 to 1/2 in. with no preparation; max. thickness practically unlimited	Thin to unlimited thickness
Welding positions	Flat and horizontal	All positions (also pipe welding)	Flat and horizontal with small electrode wire all positions	All positions
Major advantages	Low cost gas—high travel speed, deep penetration, high deposition	Thin material—will bridge gaps, min. cleanup	Smooth surface—deep penetration, high travel speed	Uses larger electrode
Limitations	Spatter removal sometimes required, high heat	Uneconomical in heavy thickness—except out of position	Position—min. thickness	Special power source
Appearance of weld	Relatively smooth, some spatter	Smooth surface—minor spatter	Smooth surface—minimum spatter	Smooth surface—minimum spatter
Travel speeds	Up to 250 in./min	Max. 50 in./min	Up to 150 in./min	Up to 100 in./min
Range of electrode wire sizes (in.)	Diameter: 0.045, 1/16, 3/32	Diameter: 0.030, 0.035, 0.045	Diameter: 0.035, 0.045, 1/16, 3/32	Diameter: 1/16, 3/32, 1/8

Pemilihan elektroda dalam las GMAW untuk pengelasan bermacam-macam material logam menurut Politeknik Perkapalan ITS (1992) tergantung pada:

- Komposisi *base metal*,
- Sifat-sifat mekanik *base metal*.
- Gas pelindung yang dipakai.
- Spesifikasi pekerjaan
- Tipe sambungan

Untuk pengelasan material *ferrous*, elektroda yang dipakai diberi tambahan elemen-elemen lain pada saat pembuatannya untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang diinginkan, juga ditambahkan pula elemen-elemen sebagai deoksidator atau *deoxidizer*. Adapun elemen-elemen tambahan itu antara lain adalah:

- **Silikon.** Sebagai elememen *deoxidizer* silikon ditambahkan ke dalam elektroda dengan kadar antara 0.4%-1.0% tergantung pada pemakaiannya. Silikon merupakan *deoxidizer* yang baik dan penambahan persentase Silikon akan menambah kekuatan dan mengurangi sedikit *ductility* dan *toughness*. Namun penambahan lebih dari 1.2% akan mengakibatkan hasil pengelasan semakin sensitif terhadap *crack*.
- **Mangan.** Umumnya Mangan juga digunakan sebagai *deoxidizer* dan penambah kekuatan. Persentase pada elektrotode *mild steel* antara 1%-2%. Mangan juga mengurangi kepekaan hasil pengelasan terhadap *hot crack*

- **Alumunium, Titanium dan Sircenium.** Elemen-elemen ini merupakan *deoxidizer* yang sangat kuat. Penambahan elemen-elemen ini ke dalam elektroda sangat kecil, biasanya tidak lebih dari 0,2%.
- **Karbon.** Biasanya untuk kawat las *steel* mengandung karbon antara 0.05% sampai 0.12%. Persentase ini cukup agar *ductility* dan *toughness* tidak berkurang, dan supaya tidak terjaid *porosity*, khususnya apabila menggunakan gas CO₂ sebagai pelindung. Bila persentase karbon pada elektroda maupun *base metal* lebih dari 0.12%, maka hasil pengelasan akan kehilangan karbon karena terbentuknya CO₂. Hal ini akan mengakibatkan adanya *porosity* pada hasil pengelasan, namun penambahan *deoxidizer* dapat membantu menghilangkan kejadian ini.
- **Elemen-elemen lain.** Nikel, Chrom dan Keleybden selalu ditambahkan pada elektroda GMAW untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis dan tahan korosi. Pada *carbon steel electrode* ditambahkan dalam persentase kecil untuk meningkatkan kekuatan dan *toughmess* pada deposit las. Sedangkan pada elektroda untuk *stainless steel* persentase unsur-unsur ini besar.

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (1994) karena berkembangnya penggunaan las busur CO₂ ini maka telah diproduksi dan distandarkan kawat-kawat elektroda las yang digunakan untuk pengelasan tersebut. Standardisasi kawat las menurut AWS untuk pengelasan baja kuat ditunjukkan dalam tabel 3.6 berikut ini.

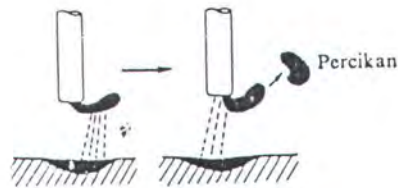
Tabel 3.6 Spesifikasi kawat las busur gas (AWS A 5.18-1969)
(Wirjosumarto dan Okumura, 1994)

Klasifikasi	Komposisi kimia kawat las (%)						Gas pelindung	Jenis ^{a)} listrik	Sifat mekanik logam las (%)			
	C	Si	Mn	P	S	Lainnya			Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Batas luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan tumbuk (kg-m)
E 70 S-1	0,07 -0,19	0,30 -0,50	—	—	—	—	Ar 1-5% O ₂	—	—	—	—	—
E 70 S-2	≤ 0,06	0,40 -0,70	—	—	—	Ti 0,05-0,1 Zr 0,02-0,12 Al 0,05-0,15	Ar 1-5% O ₂	—	—	—	—	≥ 2,8 (-28,9 °C)
E 70 S-3	0,06 -0,15 0,07	0,45 -0,70 0,65	0,90 -1,40	—	—	—	CO ₂	—	—	—	—	22,8 (-17,8 °C)
E 70 S-4	—	—	—	≤ 0,025	≤ 0,035	—	—	DC (+)	≥ 50,6	—	≥ 22	—
E 70 S-5	-0,15 0,07 -0,19	-0,85 0,30 -0,60	—	—	—	Al 0,50-0,90	CO ₂	—	—	≥ 42,2	—	—
E 70 S-6	0,01 -0,15	0,80 -1,15	1,40 -1,85	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 2,8 (-28,9 °C)
E 70 S-G	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 51,3	—	—	—
E 70 S-1H	0,07 -0,12	0,56 -0,80	1,60 -2,10	≤ 0,025	≤ 0,035	Ni 0,15 Mo 0,40-0,60	CO ₂	DC (+)	—	—	≥ 17	≥ 2,8 (-28,9 °C)
E 70 S-GB	—	—	—	—	—	—	—	—	≥ 50,6	—	—	—
E 170 U-1	0,07 -0,15	0,15 -0,35	0,80 -1,40	≤ 0,025	≤ 0,035	—	Ar	DC (-)	—	—	—	≥ 2,8 (-28,9 °C)

III.6.2 CO₂ SEBAGAI GAS PELINDUNG

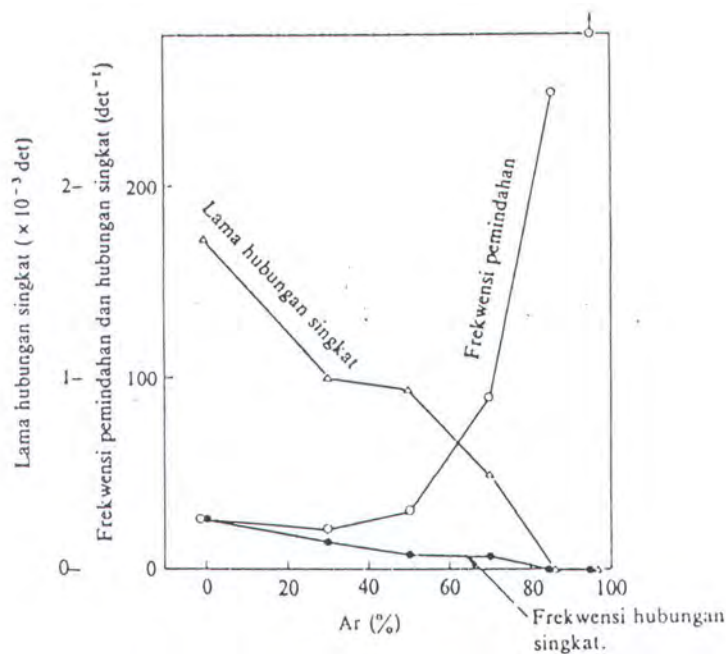
Menurut Giachino et al. (1971) ada beberapa proses las busur dengan pelindung gas di mana gas-gas yang digunakan sebagai pelindung dapat memiliki efek-efek yang sangat nyata pada properti deposit pengelasannya. Maka dari itu pengelasan dapat dilakukan dalam keadaan terkontrol. Pada pengelasan SMAW perlindungan dilakukan dengan melapisi elektroda dengan suatu lapisan fluks yang menghasilkan suatu atmosfer yang membantu meningkatkan mutu hasil pengelasan pada saat lapisan fluks tersebut terpisah dalam busur pengelasan. Untuk pengelasan GMAW efek ini dilakukan dengan menyelubungi daerah busur dengan gas yang disuplai dari luar.

Udara pada daerah busur dipindah dan digantikan oleh gas pelindung, kemudian busur diselimuti oleh gas pelindung tersebut. Demikianlah prinsip proses pengelasan dengan gas pelindung. Karena *weld metal* yang mencair hanya



Gambar 3.7 Skema terjadinya percikan dalam las busur gas CO_2
(Wiryosumarto dan Okumura, 1994)

Kadang-kadang gas CO_2 yang digunakan dicampur dengan gas Ar atau O_2 . Pengaruh tambahan gas Ar terhadap busur ditunjukkan dalam gambar 3.8 di mana dapat dilihat bahwa dengan naiknya konsentrasi gas Ar pemindahan butir-butir cairan logam menjadi lebih sering dan hubungan singkat antara butir cairan dan logam cair menjadi berkurang. Perubahan ini menyebabkan busur lebih mantap, sehingga dapat dikatakan bahwa gas Ar dapat berfungsi sebagai pemantap busur. Di samping itu percikan juga menjadi berkurang. Bila konsentrasi Argon melebihi 85% maka hubungan singkat hilang dan pemindahan bentuk butir berubah menjadi pemindahan semburan. Dengan kejadian ini dapat dianggap bahwa 85 % Ar merupakan batas perubahan dari las busur CO_2 ke las busur gas Ar.



Gambar 3.8 Hubungan antara frekwensi pemindahan, frekwensi hubungan singkat, lama hubungan singkat dan kandungan argon dalam campuran Ar-CO₂ (Wirjosumarto dan Okumura, 1994)

Bila dalam pengelasan busur gas CO₂ ditambahkan gas O₂, maka akan terjadi peningkatan dalam kecepatan pencairan kawat las, kedalaman penetrasi dan pembentukan terak yang semuanya memperbaiki penampakan manik las. Karena alasan-alasan ini, maka gas O₂ kadang-kadang ditambahkan sampai dengan 10 %. Di samping sifatnya yang memperbaiki, gas O₂ juga menyebabkan terjadinya oksidasi. Untuk mengurangi hal ini biasanya kawat las untuk las busur CO₂ ditambah dengan zat-zat yang berfungsi sebagai deoksidator. Pemindahan

butiran cairan dalam las busur $\text{CO}_2\text{-O}_2$ hampir sama dengan pemindahan pada las busur CO_2 murni.

Menurut Giachino et al. (1971) kadar kemurnian karbondioksida bisa bervariasi tergantung pada proses yang digunakan untuk memproduksi gas tersebut. Walaupun demikian, batas kemurnian karbondioksida yang digunakan untuk pengelasan busur telah diatur dalam standar.

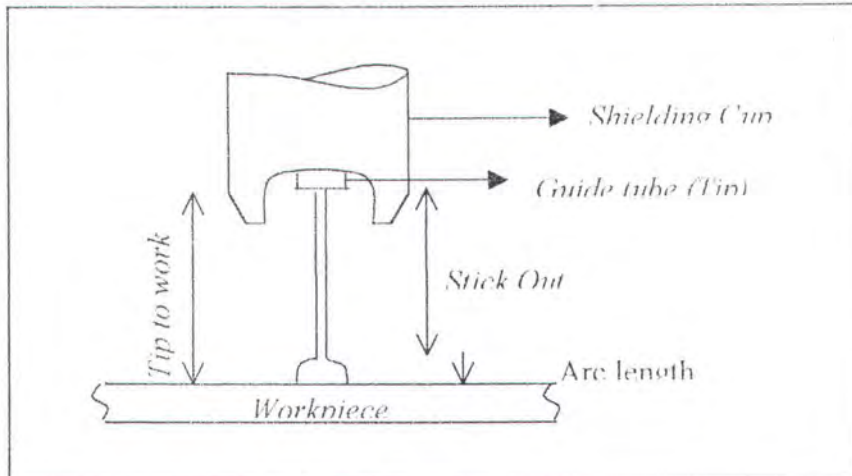
Gas karbondioksida mengurangi banyak karakteristik pengelasan dengan argon yang tidak diinginkan. Dengan menggunakan karbondioksida sebagai gas pelindung, maka bentuk penetrasi yang dalam akan didapatkan. Inilah yang mengurangi cacat-cacat pengelasan seperti *lack of penetration* dan *lack of fusion*. *Bed contour* akan lebih baik dan tidak ada kecenderungan *undercut*. Keuntungan lain adalah harganya yang relatif murah jika dibandingkan dengan gas pelindung yang lain.

Adapun kerugian utama dalam menggunakan karbondioksida adalah kecenderungan busur menjadi agak ganas. Hal ini dapat menyebabkan masalah percikan atau *spatter* pada pengelasan material tipis di mana penampakan las diutamakan. Walaupun demikian untuk kebanyakan aplikasi hal ini bukanlah merupakan masalah utama.

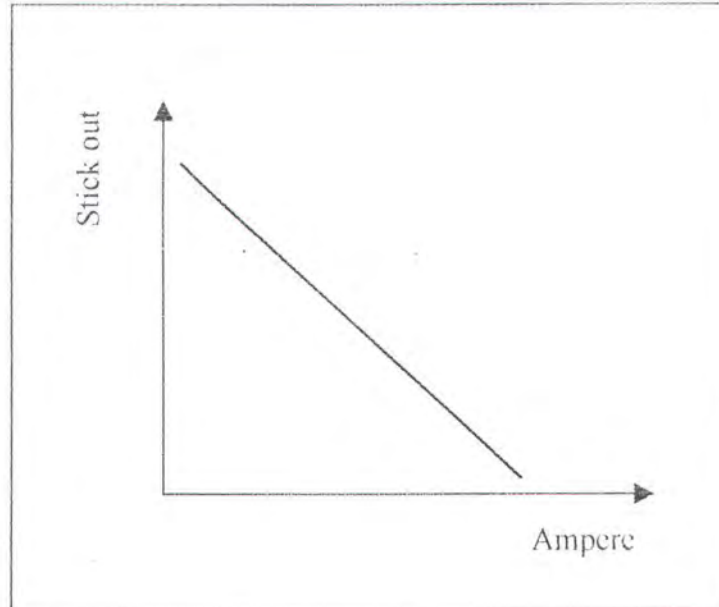
III.7 WIRE STICK OUT

Menurut Politeknik Perkapalan ITS (1992) *wire stick out* adalah jarak antara ujung elektroda *wire* ke ujung *tip* (lihat gambar 3.9). Pengaruh panjang *stick out* adalah pada pemanasan elektroda (I^2R). Kalau jarak ujung *tip* ke benda kerja (*tip*

to work distance) bertambah, maka I^2R bertambah dan ampere untuk mencairkan elektroda berkurang (lihat gambar 3.10).



Gambar 3. 9 Wire stick out
(Politeknik Perkapalan ITS, 1992)



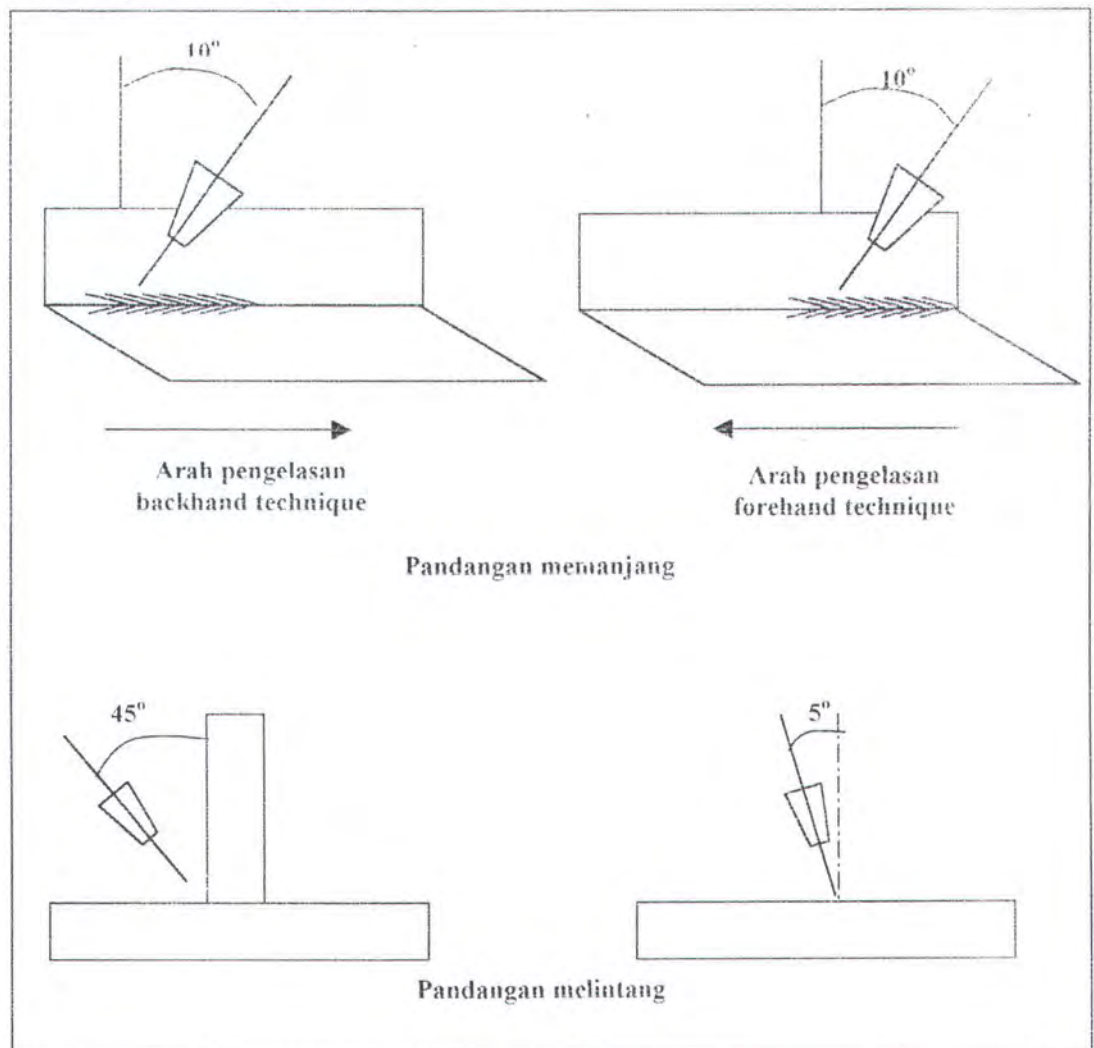
Gambar 3.10 Hubungan antara stick out dan ampere pengelasan
(Politeknik Perkapalan ITS, 1992)

Pengontrolan panjang *stick out* sangat penting karena dengan bertambahnya *stick out*, maka pencairan *wire* berlangsung pada ampere yang kecil, akibatnya

penembusan kurang dan hasil pengelasan menjadi jelek serta kestabilan busur kurang.

III.8 TEKNIK PENGELASAN

Ada dua cara teknik pengelasan, yaitu *backhand* dan *forehand*, sudut-sudut posisi *torch* biasanya diukur pada dua arah, yaitu sudut arah sepanjang pengelasan dan sudut arah benda kerja (Politeknik Perkapalan ITS, 1992). Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



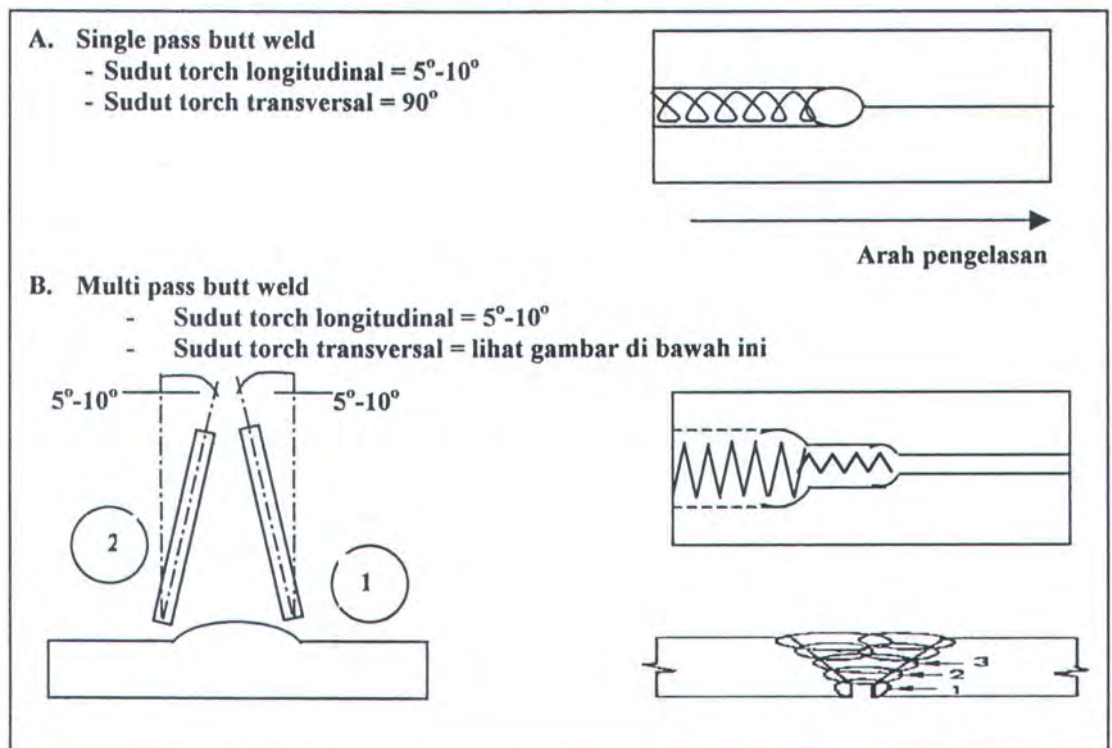
Gambar 3.11 Teknik pengelasan dan pengukuran sudut pengelasan GMAW (Politeknik Perkapalan ITS, 1992)

III.8.1 AYUNAN TORCH

Ayunan *torch* dilakukan supaya bentuk deposit las dan pengisian sela menjadi lebih baik. Bentuk ayunan *torch* bermacam-macam bergantung pada posisi pengelasan dan bentuk sambungan. Berikut ini diberikan gambaran ayunan *torch* untuk pengelasan berbagai macam posisi.

a. Posisi datar

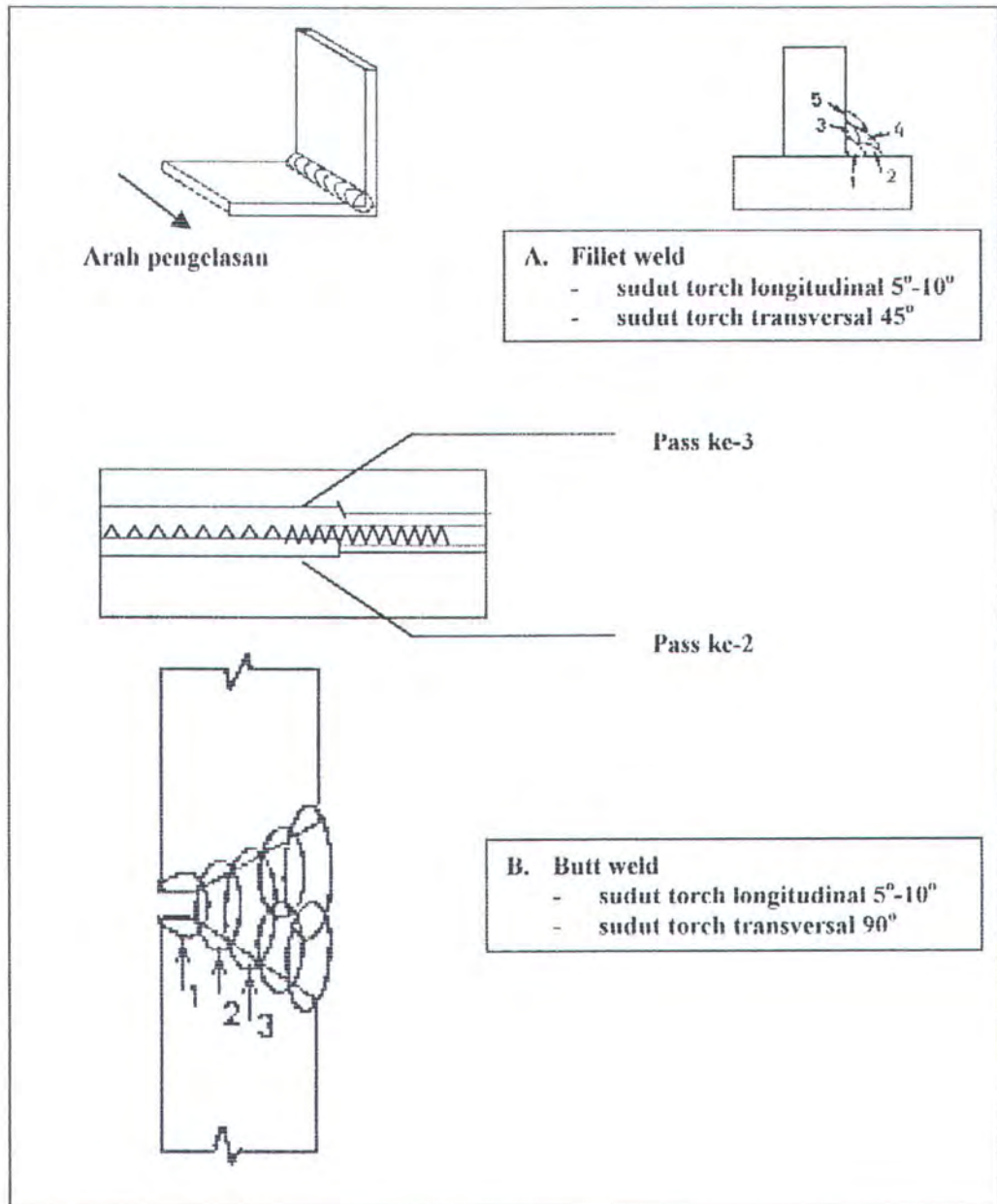
Untuk posisi datar (*downhand*) disarankan ayunan *torch* seperti gambar 3.12 di bawah ini. Untuk pengelasan *single pass* pada *butt joint*, ayunan *torch* kecil dan berhenti sebentar untuk memberi kesempatan carian las mengisi sisi lasan. Untuk pengelasan *multi pass* dengan *root opening* juga digunakan ayunan kecil ke kiri dan ke kanan untuk pass pertama. Sedangkan untuk penimbunan digunakan dengan berhenti sebentar pada tiap-tiap sisi las.



Gambar 3. 12 Bentuk ayunan posisi datar
(Politeknik Perkapalan ITS, 1992)

b. Posisi Horizontal

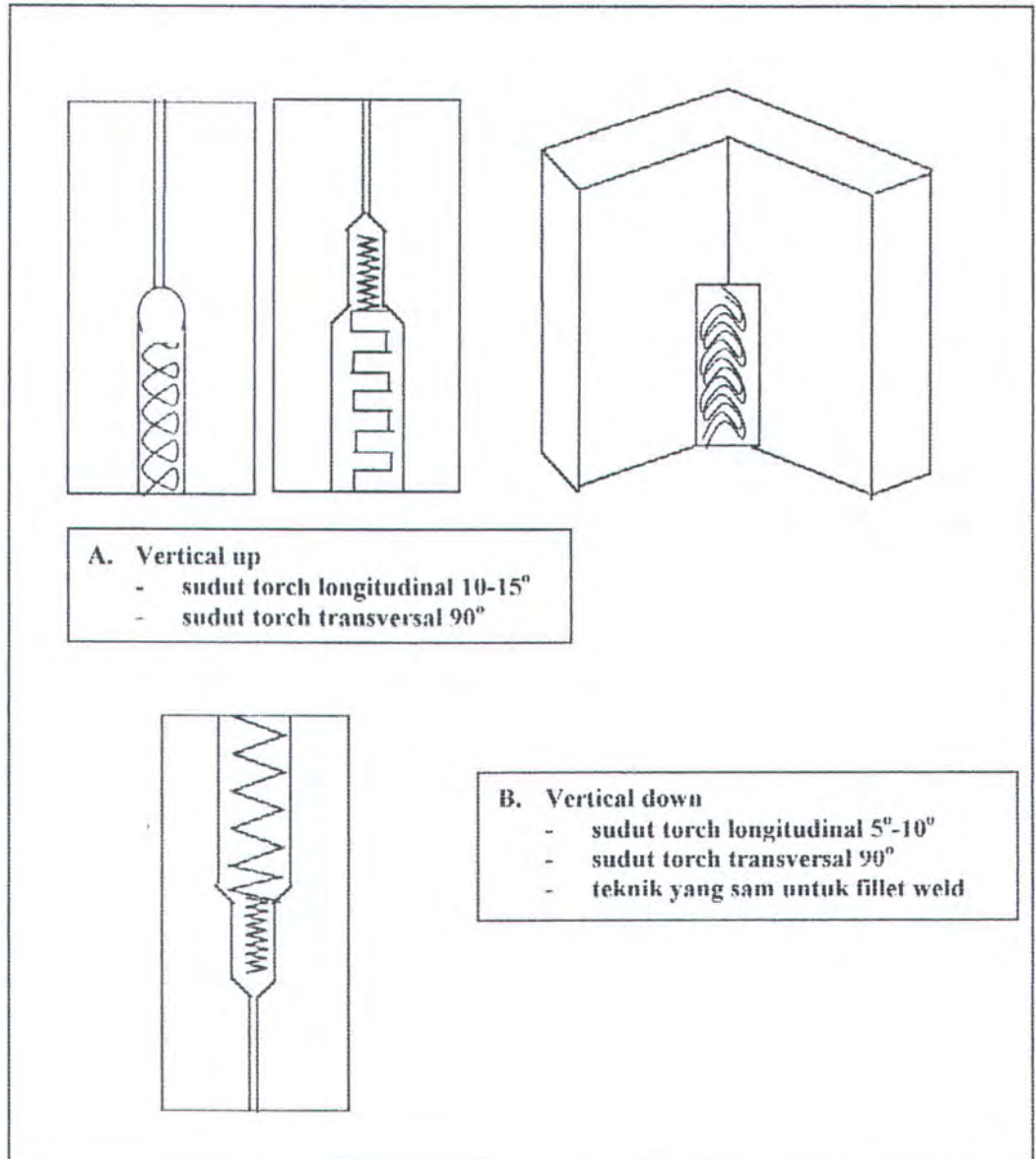
Untuk posisi horizontal disarankan ayunan *torch* seperti gambar 3.13 di bawah ini. Untuk pengelasan *fillet* dilakukan dengan bentuk melingkar sedangkan untuk pengelasan *butt*, bentuk ayunan adalah lurus.



Gambar 3.13 Bentuk ayunan posisi horizontal
(Politeknik Perkapalan ITS, 1992)

c. Posisi Vertikal

Bentuk ayunan untuk posisi vertikal disarankan seperti gambar 3. di bawah ini untuk posisi *vertical up* dan *vertical down*.



Gambar 3.14 Bentuk ayunan posisi vertikal
(Politeknik Perkapalan ITS, 1992)

BAB IV

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PROGRAM

IV.1 PENYIAPAN DATA-DATA UNTUK DATABASE

Data-data yang digunakan untuk menyusun *database* ini merupakan kumpulan data yang didapat dari *text book*, katalog *filler material* dan dari AWS D1.1-98: Structural Welding Code- Steel. Adapun data-data tersebut adalah:

- Data ketebalan material, diameter elektroda, arus pengelasan, voltase busur, pemakaian *wire*, *travel speed*, *shielding gas flow* yang sesuai dengan masing-masing ketebalan tersebut pada pengelasan satu *pass* dengan posisi horizontal, vertikal dan *overhead* untuk pengelasan *fillet* dan *groove*. Untuk pengelasan *fillet*, *weld size* sama dengan ketebalan logam induk dan untuk pengelasan *square groove*, *root opening*-nya sama dengan $\frac{1}{2}$ ketebalan logam induk. Gas pelindung yang digunakan dapat berupa CO₂ murni atau campuran 75% Argon + 25% CO₂ dengan tipe transfer metal *short-circuiting transfer* (diambil dari buku Cary, 1994. **Modern Welding Technology**. New Jersey: Regents/Prentice Hall. Figure 6-67 Short-circuiting transfer schedules. Halaman 141).
- Data ketebalan material, tipe pengelasan (*fillet* atau *square groove*), diameter elektroda, arus pengelasan, voltase busur, pemakaian *wire*, *travel speed*, CO₂ *gas flow*. Gas pelindung yang digunakan adalah CO₂ murni dengan tipe transfer metal *globular transfer* (diambil dari Cary.

1994. **Modern Welding Technology**. New Jersey: Regents/Prentice Hall. Figure 6-68 Globular transfer CO₂ schedules Halaman 141).

- Data ketebalan material, *root opening*, tipe pengelasan (*fillet* atau *square groove*), diameter elektroda, arus pengelasan, voltase busur, *travel speed*. Gas pelindung yang digunakan adalah CO₂ murni (diambil dari buku Wiryosumarto dan Okumura. 1994. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta: Pradnya Paramita. Tabel 7.10 Kondisi standar pada las busur CO₂. Halaman 238-239).
- Data spesifikasi elektroda yang sesuai untuk berbagai jenis material induk (didapatkan dari *AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel 16th edition*. Table 3.1 Prequalified Base Metal-Filler Metal Combinations for Matching Strength. Halaman 42-43).
- Data temperatur *preheat* dan *interpass* minimum untuk berbagai jenis material induk dengan berbagai ketebalan (didapatkan dari *AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel 16th edition*. Table 3.2 halaman 36-37).
- Data gambar *joint detail* yang sebagian merupakan hasil *scan* gambar-gambar *joint detail* dari berbagai sumber yang diperbaiki dan sebagian lagi digambar sendiri dengan menggunakan Microsoft Paint.
- Data keterangan filler material, termasuk di dalamnya nama elektroda, spesifikasi menurut AWS beserta *electrode class*, nama perusahaan pembuat elektroda, properti kimia, properti mekanis, berbagai diameter yang tersedia, arus dan voltase yang sesuai untuk masing-masing

diameter serta gas pelindung yang digunakan (didapatkan dari ESAB. 1998. **Product Catalogue**, 1998 edition dan Kobelco. **Welding Handbook**. Kobe Steel Ltd. Welding Division)

IV.2 PENYUSUNAN DATABASE

Dari data-data yang telah disiapkan tersebut, maka dapat disusun tabel-tabel *database* yang meliputi:

- *Database table* **nama material induk** dengan field: nama material induk - grade material induk, nama material induk dan grade material induk untuk database look-up combo box.
- *Database table* **properti mekanis material induk** dengan field: jenis material induk-grade material induk, properti mekanis masing-masing material.
- *Database table* **komposisi kimia material induk** dengan field: nama material induk - grade material induk, unsur-unsur kimia yang terkandung di dalamnya.
- *Database table* **spesifikasi filler material** dengan field: jenis material induk-grade material induk, spesifikasi *filler material* yang sesuai menurut AWS D1.1-98: *Structural Welding Code-Steel 16th edition*.
- *Database table* **keterangan filler material** dengan field: nama *filler material*, nama pabrik pembuat material, komposisi kimia, properti mekanis, arus pengelasan, voltase pengelasan dan gas pelindung yang sesuai.

Tabel 4.5 Database table keterangan filler material

Nama <i>Field</i>	Tipe	Ukuran data	Keterangan
IDPRODUCT	+		Nomor urut data
PRODNAME	A	20	Nama dagang elektroda
MANUFACTURER	A	15	Nama produsen
TYPE	A	20	Jenis Elektroda
SPEC	A	9	Spesifikasi elektroda
CLASS	A	9	Klasifikasi elektroda
C	N		Kandungan karbon
Mn	N		Kandungan mangan
P	N		Kandungan fosfor
S	N		Kandungan belerang
Si	N		Kandungan silikon
Ni	N		Kandungan nikel
Cu	N		Kandungan tembaga
Cr	N		Kandungan chrom
Mo	N		Kandungan molybdenum
V	N		Kandungan vanadium
Colombium	N		Kandungan colobium
YIELD	N		Tegangan yield elektroda
TENSILE	N		Tegangan tensile elektroda
ELONG	N		Elongasi elektroda
DIAM1	N		Diameter Elektroda pertama
DIAM2	N		Diameter kedua
DIAM3	N		Diameter ketiga
DIAM4	N		Diameter keempat
DIAM5	N		Diameter kelima
DIAM6	N		Diameter keenam
DIAM7	N		Diameter ketujuh
DIAM8	N		Diameter kedelapan
DIAM9	N		Diameter kesembilan
DIAM10	N		Diameter kesepuluh
DIAM11	N		Diameter kesebelas

- *Database table WPS* dengan field: proses pengelasan, *joint code* (*fillet* atau *groove*), posisi pengelasan, sisi pengelasan (*single* atau *double*), ketebalan minimal, ketebalan maksimal, penggunaan backing material, tipe *metal transfer*, tipe arus, polaritas arus, gas pelindung, *root face*, *root opening*, sudut bevel, pass ke berapa. Selain itu juga terdapat field: kelas elektroda, diameter elektroda, arus yang sesuai, voltase yang sesuai, ukuran *gas cup*, *gas flow*, *travel speed*, kecepatan pemakanan *wire*.
- *Database table posisi pengelasan* dengan field: posisi pengelasan untuk *database look-up combo box*.
- *Database table proses pengelasan* dengan field berbagai proses pengelasan untuk *database look-up combo box*.

Di bawah ini diberikan tabel-tabel yang menunjukkan *field-field* yang terdapat pada *database table* yang telah diterangkan di atas.

Tabel 4.1 Database table nama material induk

Nama <i>Field</i>	Tipe	Ukuran data	Keterangan
ID_MATERIAL	+		Nomor urut data
MATDESC	A	20	Nama material dan grade-nya
MATERIAL	A	10	Nama material
GRADE	A	9	Grade material

Tabel 4.2 Database table properti mekanis material induk

Nama <i>Field</i>	Tipe	Ukuran data	Keterangan
MATERIAL_DESC	A	20	Nama material dan grade-nya
ELONG	N		Elongasi material
MINYIELD	N		Tegangan yield minimum
MAXYIELD	N		Tegangan yield maksimum
MINTENSILE	N		Tegangan tensile minimum
MAXTENSILE	N		Tegangan tensile maksimum

Tabel 4.3 Database table komposisi kimia material induk

Nama <i>Field</i>	Tipe	Ukuran data	Keterangan
IDMATERIAL	A	20	Nama material dan gradenya
C	N		Kandungan karbon
Mn	N		Kandungan mangan
P	N		Kandungan fosfor
S	N		Kandungan belerang
Si	N		Kandungan silikon
Ni	N		Kandungan nikel
Cu	N		Kandungan tembaga
Cr	N		Kandungan kromium
Mo	N		Kandungan molibdenum
V	N		Kandungan vanadium
Nb	N		Kandungan columbium

Tabel 4.4 Database table spesifikasi filler material

Nama <i>Field</i>	Tipe	Ukuran data	Keterangan
MATDESC	A	20	Nama material dan gradenya
GMAW	N		Spesifikasi elektroda

POLARITY1	A	8	Polaritas pertama
POLARITY2	A	8	Polaritas kedua
CURRENT1	N		Arus Elektroda pertama
CURRENT2	N		Arus kedua
CURRENT3	N		Arus ketiga
CURRENT4	N		Arus keempat
CURRENT5	N		Arus kelima
CURRENT6	N		Arus keenam
CURRENT7	N		Arus ketujuh
CURRENT8	N		Arus kedelapan
CURRENT9	N		Arus kesembilan
CURRENT10	N		Arus kesepuluh
CURRENT11	N		Arus kesebelas
VOLTAGE1	N		Tegangan Elektroda pertama
VOLTAGE2	N		Tegangan kedua
VOLTAGE3	N		Tegangan ketiga
VOLTAGE3	N		Tegangan ketiga
VOLTAGE4	N		Tegangan keempat
VOLTAGE5	N		Tegangan kelima
VOLTAGE6	N		Tegangan keenam
VOLTAGE7	N		Tegangan ketujuh
VOLTAGE8	N		Tegangan kedelapan
VOLTAGE9	N		Tegangan kesembilan
VOLTAGE10	N		Tegangan kesepuluh
VOLTAGE11	N		Tegangan kesebelas
DESC	A	20	Gas pelindung yang sesuai

Tabel 4.6 Tabel WPS

Nama <i>Field</i>	Tipe	Ukuran data	Keterangan
IDRECORD	+		Nomor urut data
WPROC	A	8	Proses pengelasan
JOINTCODE	A	1	Jenis sambungan (groove/fillet)
POSCODE	A	20	Posisi pengelasan
WELDTYPE	A	10	Sisi pengelasan (single/double)
MINTHICK	N		Tebal minimum (Inchi)
MAXTHICK	N		Tebal maksimum
BACKING	A	5	Menggunakan backing/tidak
SHIELDING	A	15	Gas pelindung
ROOTFACE	A	8	Root face
ROOTO	A	8	Root opening
ANGLE	A	8	Sudut bevel
POLARITY1	A	4	Polaritas 1
PASS1	A	6	Pass 1
ECLASS1	A	10	Klasifikasi elektroda pada pass 1
CURRENT1	A	10	Arus pada pass 1
ROOTO	A	8	Root opening
ANGLE	A	8	Sudut bevel
POLARITY1	A	4	Polaritas 1
PASS1	A	6	Pass 1
ECLASS1	A	10	Klasifikasi elektroda pada pass 1
CURRENT1	A	10	Arus pada pass 1
ARCSPEED1	A	10	Kecepatan pengelasan pass 1
VOLT1	A	10	Tegangan pengelasan pass 1
GASFLOW1	N	10	Kecepatan alir gas pada pass 1
GASCUP1	N	10	Ukuran gascup pada pass 1
WIRESPEED1	N	10	Kecepatan pengumpanan elektroda pada pass 1

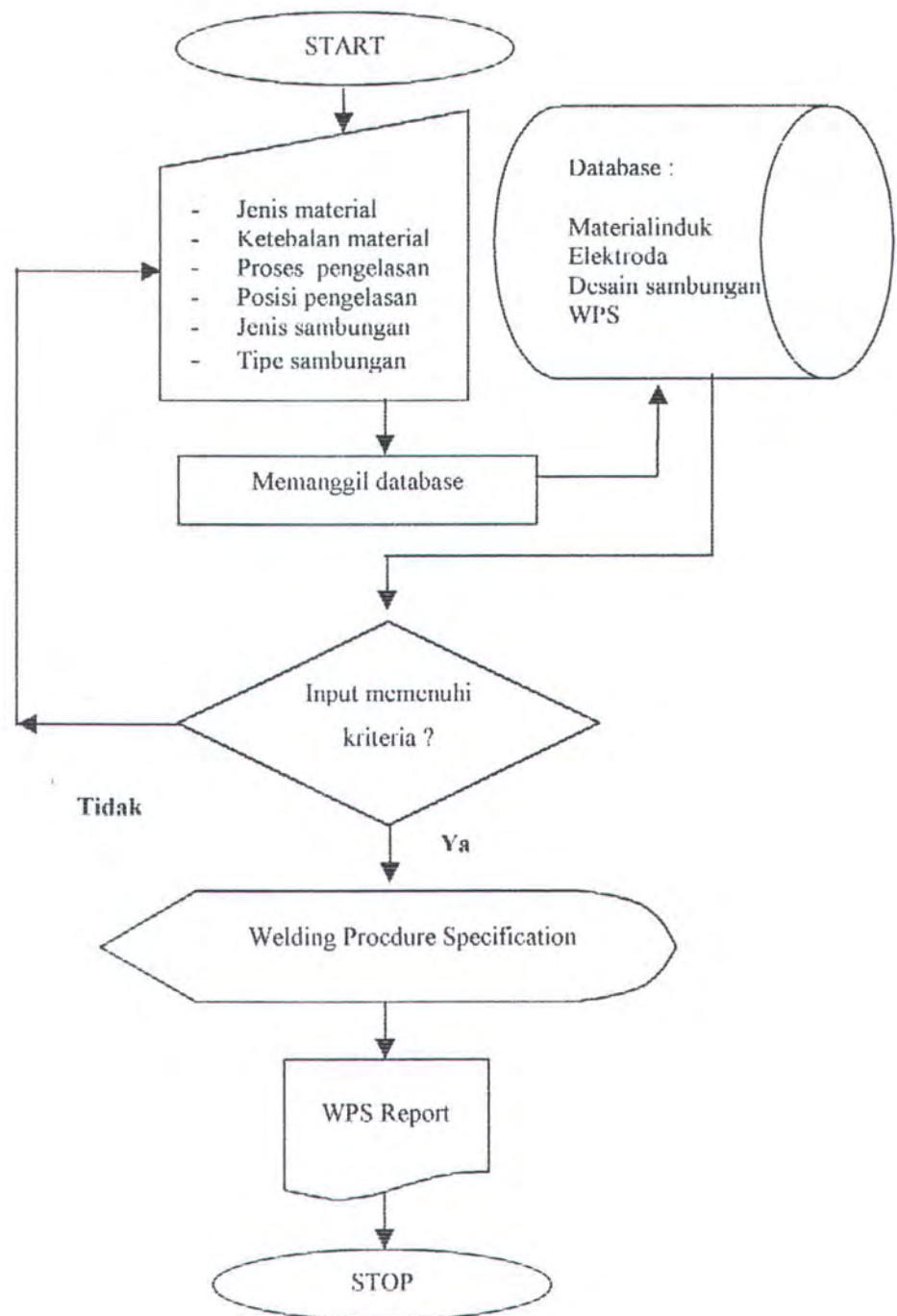
POLARITY2	A	4	Polaritas 2
PASS2	A	6	Pass 2
ECLASS2	A	10	Klasifikasi elektroda pada pass 2
CURRENT2	A	10	Arus pada pass 2
ARCSPEED2	A	10	Kecepatan pengelasan pass 2
VOLT2	A	10	Tegangan pengelasan pass 2
GASFLOW2	N	10	Kecepatan alir gas pada pass 2
GASCUP2	N	10	Ukuran gascup pada pass 2
WIRESPEED2	N	10	Kecepatan pengumpanan elektr-ode pada pass 2
POLARITY3	A	4	Polaritas 3
PASS3	A	6	Pass 3
ECLASS3	A	10	Klasifikasi elektroda pada pass 3
CURRENT3	A	10	Arus pada pass 3
ARCSPEED3	A	10	Kecepatan pengelasan pass 3
VOLT3	A	10	Tegangan pengelasan pass 3
GASFLOW3	N	10	Kecepatan alir gas pada pass 3
GASCUP3	N	10	Ukuran gascup pada pass 3
WIRESPEED3	N	10	Kecepatan pengumpanan elektr-ode pada pass 3
DESAIN	G		Gambar desain sambungan

Print-out database table yang disebutkan di atas kami sertakan di dalam lampiran.

IV.3 PEMBUATAN PROGRAM

Berdasarkan *database* yang telah disusun sebelumnya, maka program perangkat lunak untuk perancangan prosedur pengelasan las busur CO₂ dapat mulai dibuat. Karena program ini digunakan untuk merancang WPS untuk las busur CO₂ yang memiliki nama lain *Metal Active Gas* (MAG) welding, maka

program ini penulis namakan *MAG's Pro*. Diagram alir program MAG's Pro dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Diagram alir perangkat lunak

IV.4 PERANCANGAN FORM DIALOG MAG'S PRO

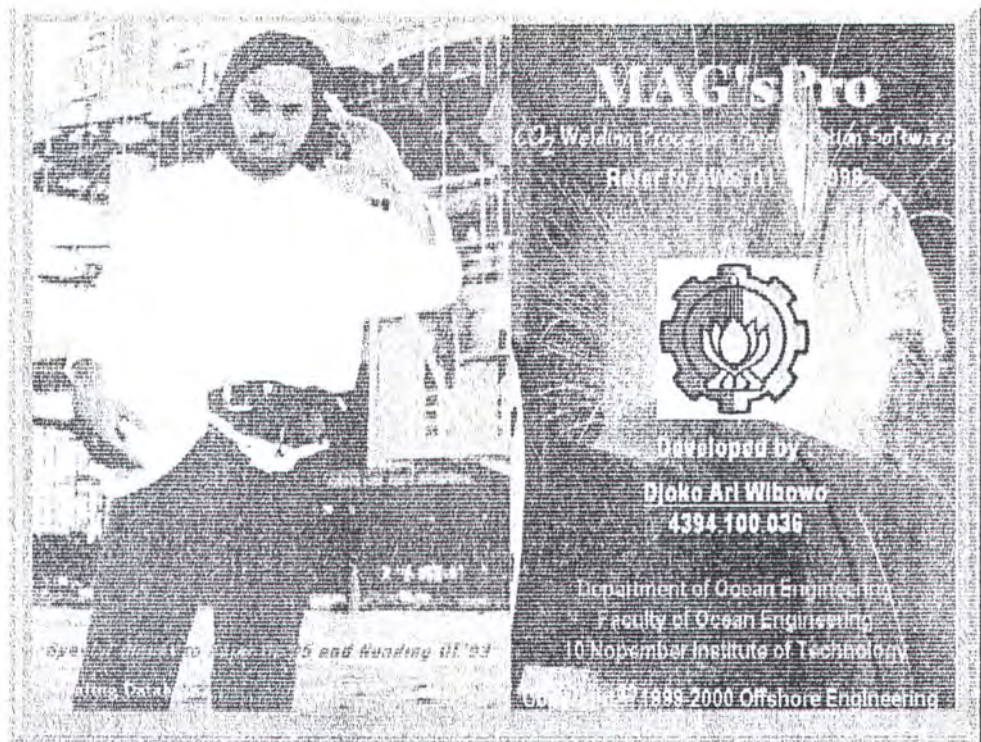
Form dialog merupakan tampilan pada program dirancang yang berfungsi sebagai media komunikasi antara *application software* dengan pengguna, baik sebagai *window* untuk meng-*input* data maupun *output window* hasil pengolahan, serta *window-window* pelengkap sebagai aksesoris tambahan yang membuat tampilan program ini lebih manis. Adapun *form-form* yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- *Form splash* sebagai tampilan pada saat *loading* program.
- *Form* utama program sebagai tampilan awal program.
- *Form* input, digunakan untuk meng-*input* data masukan
- *Form* animasi untuk memberi petunjuk bahwa program sedang melakukan pencarian data
- *Form* output sebagai tampilan awal dari prosedur pengelasan yang dihasilkan.
- *Form* editor output digunakan untuk mengedit prosedur yang dihasilkan oleh aplikasi yang akan dibuat.
- *Form* informasi *base metal*, berisi properti mekanis dan komposisi kimia *base metal*.
- *Form* katalog elektroda, berisi keterangan *consumable material*, termasuk merk elektroda yang tersedia.
- *Form report* digunakan untuk menampilkan *WPS report* dari prosedur pengelasan yang dihasilkan.

- *Form report* hasil edit digunakan untuk menampilkan *WPS report* hasil pengeditan.
- *Form editor WPS* untuk meng-input data-data WPS ke dalam *database*.
- *Form editor consumable material* untuk meng-input data-data *consumable material* ke dalam *database*.
- *Form about* berisi keterangan *application software* MAG's Pro.
- *Form data module* yang digunakan sebagai penampung data yang digunakan.

IV.4.1 FORM SPLASH

Form splash adalah *form* yang pertama kali muncul. *Form* ini berisi informasi tentang nama program yang sedang di-*loading*, perancang program, tahun keluaran program. Di dalam *form* ini terdapat *status bar* yang berfungsi sebagai indikator kemajuan *loading* program yang sedang berjalan. Kemunculan *form* ini hanya sesaat saja, bila *loading* program selesai, maka *form* ini akan menghilang. Desain *form splash* dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Form splash

IV.4.2 FORM UTAMA

Form utama program dirancang seperti umumnya *application software* yang beroperasi *under windows* yang ada pada saat ini. *Form* ini memiliki beberapa menu dan *toolbar*. Menu-menu yang ada pada *form* utama ini adalah menu *File* yang memiliki dua sub menu, yaitu *New* yang digunakan apabila kita ingin merancang WPS baru dan menu *Exit* yang digunakan apabila kita ingin keluar dari program. Menu kedua adalah menu *Database* yang memiliki sub menu *Consumable material* untuk mengedit *database consumable material* dan sub menu *Joint Detail* untuk mengedit *database* desain sambungan pengelasan dan prosedur pengelasan. Menu *Search* untuk melacak data yang terdapat di dalam *database*, menu ini memiliki dua sub menu yaitu sub menu *Base Metal Properties*

untuk melacak berdasarkan properti yang dimiliki oleh *Base Metal* dan sub menu *Consumable Material Properties* untuk melacak berdasarkan properti yang dimiliki oleh *consumable material*. Menu *Help* memiliki sub menu *About* yang berisi keterangan program. Sedangkan pada *toolbar* terdapat tombol *New* untuk membuat WPS baru, tombol *Open* untuk membuka WPS yang tersimpan dalam *database*, tombol *Save* untuk menyimpan WPS ke dalam *database* sehingga bisa dipanggil dengan menggunakan tombol *Open*, tombol *Database Consumable material* untuk mengedit *database consumable material*, tombol *Database Joint Detail* untuk mengedit gambar sambungan las dengan menggunakan program Microsoft Paint, tombol *Exit* untuk keluar dari program MAG's Pro. Desain *form* utama dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Form utama

IV.4.3 FORM INPUT

Fungsi *form* input adalah sebagai *window* tempat meng-*input* data yang dibutuhkan dalam menyusun WPS. Data yang perlu diisikan meliputi informasi perusahaan yang terdiri dari nama perusahaan, nomor identifikasi WPS, perancang WPS, orang yang mengesahkan WPS, Jenis proses pengelasan, tipe pengelasan menurut mekanisme penggerak *travel* elektroda dan pengumpan elektroda, PQR yang mendukung perancangan WPS, nomor revisi, tanggal perancangan WPS dan tanggal pengesahan WPS. Informasi kedua yang perlu

diisikan ke dalam *form input* ini adalah informasi dasar pengelasan yang meliputi nama *base metal*, *grade base metal* berubah secara otomatis sesuai nama material yang di-inputkan, kemudian tipe sambungan juga perlu diisi apakah jenis sambungan yang akan dirancang itu *groove* atau *fillet*, berikutnya *user* harus mengisi posisi pengelasan yang diinginkan, ketebalan *base metal*, penggunaan *backing material* dan sisi pengelasan (*single* atau *double*). Apabila informasi sudah terisi lengkap dan kita ingin melihat prosedur yang dihasilkan oleh program maka tekan tombol *WPS Design*, apabila kita ingin membatalkan input, maka tekan tombol *Cancel*, *form input* akan kosong secara otomatis. Desain *form input* dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut ini.

Gambar 4.4 Form input program

IV.4.4 FORM ANIMASI

Form animasi memberikan petunjuk kepada pengguna agar menunggu sejenak selama proses pencarian data di dalam *database* yang sesuai dengan data pada *form* input. Dengan adanya *form* animasi ini, maka penampilan program akan lebih menarik dan lebih bersifat *user-friendly*. Desain *form* animasi dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Form animasi

IV.4.4 FORM OUTPUT

Form output adalah hasil pencarian data pada *database* yang sesuai dengan variabel-variabel yang dimasukkan melalui *form input*. *Form output* terdiri dari dua halaman, yaitu halaman *Welding Procedure Specification* yang berisi informasi mengenai proses pengelasan, tipe sambungan, sisi pengelasan, tipe pengelasan berdasarkan tenaga penggerak elektroda dan tenaga pengumpan elektrodanya, posisi pengelasan, nama material *base metal*, ketebalan *base metal* sesuai yang di-inputkan pada *form input*. Informasi prosedur pengelasan yang ada pada *form* ini adalah temperatur *preheat*, temperatur *interpass*. Informasi *pass range*,

electrode class, diameter elektroda, tipe arus dan polaritasnya, arus pengelasan, voltase busur, kecepatan pergerakan, kecepatan pengumpanan *wire*, *shielding gas* yang digunakan, laju aliran *shielding gas* untuk masing-masing *pass range*. Selain itu juga diberikan informasi mengenai tipe transfer metal, panjang *root face*, panjang *root opening* dan sudut *bevel* sambungan untuk setiap *pass range*.

Pada sisi kanan terdapat *scroll bar* yang berguna untuk melihat hasil WPS lain, karena untuk *input* yang sama dapat menghasilkan beberapa alternatif WPS. Halaman kedua, yaitu halaman *Joint Detail* memuat gambar detail sambungan las beserta jumlah *layer* sesuai dengan WPS yang dihasilkan oleh program ini. Pada *form* ini terdapat 5 tombol antara lain: tombol *Electrode Catalogue* untuk pemilihan elektroda, tombol *Material Description* untuk mengetahui informasi properti mekanis dan komposisi kimia *base metal*, tombol *Edit* untuk melakukan pengeditan WPS yang dihasilkan, tombol *Back* untuk kembali ke *form* sebelumnya, yaitu *form input*, serta tombol *WPS Report* untuk menampilkan *print preview* hasil *report* WPS. Desain *form output* dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut ini.

Welding Procedure Specification Joint Detail

Welding Process	Welding Type	Preheat/Interpass Temperature
Joint Type	Position	Post Heat Temperature
Welding Size	Material Name	Thickness

Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness
Welding Size	Material Name	Thickness

Welding Catalogue Welding Description Print Back Exit

Gambar 4.6a Form output halaman pertama

Welding Procedure Specification Joint Detail

Gambar 4.6b Form ouput halaman kedua

[illegible]

Gambar 4.7a Form editor output halaman pertama



Gambar 4.7b Form editor output halaman kedua

IV.4.7 FORM INFORMASI BASE METAL

Form informasi *base metal* berisi informasi tentang properti mekanis dan komposisi kimia *base metal*. Properti mekanis yang ada pada *form* ini meliputi ketebalan, clongasi, kuat tarik minimum dan maksimum, kuat mulur minimum dan maksimum. Sedangkan komposisi kimia yang ada meliputi kandungan karbon, mangan, silikon, nikel, krom, belerang, molybdenum, fosfor dan columbium dalam *base metal*. Desain *form material description* dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut ini.

Mechanical Properties	
Material Name	Minimum Tensile Strength MPa
Thickness mm	Maximum Tensile Strength MPa
Material Elongation %	Minimum Yield Strength MPa
	Maximum Yield Strength MPa

Chemical Composition	
Material Name	
Carbon (C) %	Sulphur (S) %
Manganese (Mn) %	Molybdenum (Mo) %
Silicon (Si) %	Phosphorus (P) %
Nickel (Ni) %	Columbium (Nb) %
Chromium (Cr) %	

Gambar 4.8 Form material description

IV.4.8 FORM KATALOG ELEKTRODA

Form katalog elektroda berisi keterangan elektroda berbagai merk. *Form* ini digunakan untuk menentukan elektroda yang sesuai dengan material induk berdasarkan proses pengelasannya. Karena seleksi elektroda mempertimbangkan properti mekanis dan komposisi kimia *base metal*, maka pada *form* ini disertakan pula keterangan properti mekanis dan komposisi kimia elektroda. Keterangan elektroda yang ada di dalam *form* ini meliputi, nama produk elektroda, tipe elektroda, spesifikasi dan klasifikasi elektroda. Komposisi kimia elektroda meliputi unsur karbon, mangan, silikon, nikel, krom, molibdenum, fosfor, belerang dan columbium. Sedangkan properti mekanis yang terdapat di dalam *form* ini adalah kuat mulur, kuat tarik, elongasi, tipe arus yang sesuai. Keterangan tentang komposisi *shielding gas* yang dapat dipakai untuk elektroda tersebut juga

disertakan di sini. Desain *form* katalog elektroda dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini.

Basemetal Characteristic			
Chemical Composition		Mechanical Properties	
C = %	Mo = %	Minimum Tensile Strength =	MPa
Mn = %	P = %	Maximum Tensile Strength =	MPa
Si = %	S = %	Maximum Yield Strength =	MPa
Ni = %	Nb = %	Maximum Yield Strength =	MPa
Cr = %		Material Elongation =	%

Electrode Catalogue				
		Diam. [mm]	Amperes [A]	Voltage [V]
Manufacturer	Specification			
Type	Classification			
Chemical Composition		Mechanical Properties		
C = %	Mo = %	Yield Strength =	MPa	
Mn = %	P = %	Tensile Strength =	MPa	
Si = %	S = %	Elongation =	%	
Ni = %	Nb = %	Current Type =	DBI	
Cr = %		Shielding gas:		

Gambar 4.9 Form katalog elektroda

IV.4.9 FORM WPS REPORT

Form report digunakan untuk menampilkan *print preview WPS Report* berdasarkan hasil yang didapatkan dari *form output*. Dalam beberapa kasus dari sebuah *input* akan didapatkan beberapa *output* berupa WPS pada *form output*. Tiap-tiap WPS ini dapat ditunjukkan *print preview*-nya dengan cara menggeser *scroll bar* yang ada pada *form output* kemudian klik tombol *WPS Report* yang ada pada *form output*, maka untuk tiap-tiap *output* dapat ditampilkan *print preview WPS Report* yang akan dicetak. Format *WPS Report* ini disesuaikan dengan standar AWS D1.1-98: *Structural Welding Code-Steel 16th edition*. Desain *form report* dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut ini.

The screenshot shows a window titled 'KUESIONER PENGUKUTAN KUALITAS JASA' (Service Quality Assessment Questionnaire). The form contains various input fields for data entry. Below the form is a table with the following structure:

No.	Nama	Jenis	Umur	Sex	Relig.	Temp. Dpt.
1						

Gambar 4.10 Form report

IV.4.10 FORM REPORT HASIL EDIT

Sama seperti *form report*, *form report* hasil edit juga merupakan *form print preview*. Namun *form* ini merupakan *print preview* dari *form editor output*. Jadi pada *form* ini merupakan *WPS Report* hasil pengeditan yang dilakukan pada *form editor output*. Desain *form report* hasil edit dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut ini.

The screenshot shows a software window titled "WPS FORM EDITOR". At the top, there is a menu bar with options like "File", "Edit", "Format", "Tools", "Window", and "Help". Below the menu bar, there is a toolbar with various icons. The main area of the window contains a form with several sections. The first section is titled "PERSONAL INFORMATION" and includes fields for "Name", "Address", "Phone", and "Email". The second section is titled "EDUCATION" and includes fields for "School", "Degree", and "Year". The third section is titled "EMPLOYMENT" and includes fields for "Company", "Position", and "Salary". At the bottom of the form, there is a table with the following columns: "No.", "Name", "Address", "Phone", "Email", "School", "Degree", "Year", "Company", "Position", and "Salary". The table is currently empty.

Gambar 4.11 Form report hasil edit

IV.4.11 FORM EDITOR DATABASE WPS

Form editor database WPS digunakan untuk meng-input dan mengedit data-data WPS yang terdapat di dalam *database*, sehingga pengguna dapat memasukkan data ke dalam *database WPS* tanpa harus menggunakan Database Desktop dari Delphi. Pada form ini terdapat tombol *load detail*, *draw detail* serta beberapa tombol yang digunakan untuk menambah, merubah dan melihat data pada database. Pada *form* ini terdapat beberapa tombol antara lain tombol *Load detail* digunakan untuk memasukkan gambar yang sudah tersimpan di dalam sebuah *file* ke *database* sedangkan tombol *Draw detail* digunakan untuk memanggil Microsoft Paint untuk menggambar desain sambungan. Tombol *Navigation Bar* digunakan untuk mengedit data WPS yang tersimpan di dalam *database*.

Jadi *application software* yang dirancang ini dapat diedit *database*-nya tanpa harus menggunakan *software* lain. Desain *form report* hasil edit dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut ini.

The screenshot shows a 'Form Editor' window with a title bar 'WPS Form Editor'. The main area is divided into several sections for defining a welding form:

- Basic Information:** Includes fields for 'Welding Process', 'Position', 'Joint Type' (with radio buttons for Groove, Fillet, and Other), 'Weld Size' (with radio buttons for Single and Double), and a checkbox for 'Use Backing'.
- Welding Parameters:** Includes 'Transfer Mode', 'Root face (inch)', 'Root opening (inch)', 'Angle', 'Mig Thickness', and 'Mag Thickness'.
- Joint Detail:** A large empty rectangular box for drawing the joint detail.
- Process Parameters:** A list of parameters with corresponding input fields:

Process Range	
Electrode Class	
Electrode Size (in.)	
Electrode Current (Amperes)	
Arc Voltage (Volt)	
Arc Speed (in./min)	
Weld Speed (in./min)	
Flow Rate (in./h)	
Gas Cup Size (inch)	
Shielding gas	

At the bottom, there are buttons for 'Open Detail', 'Load Detail', and 'Close'.

Gambar 4.12 Form editor WPS

IV.4.12 FORM EDITOR DATABASE CONSUMABLE MATERIAL

Form editor database consumable material digunakan untuk meng-input dan mengedit data-data *consumable* yang terdapat di dalam *database*, sehingga pengguna dapat memasukkan data ke dalam *database consumable material* tanpa harus menggunakan Database Desktop dari Delphi. Pada form ini terdapat tombol-tombol *navigation bar* yang digunakan untuk pengeditan data *consumable material*. Desain *form editor database consumable material* dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut ini.

Product Name		Chemical Composition		No.	Diameter (mm)	Current (A)	Voltage (Volts)
Manufacturer		C	%	1			
Type		Mn	%	2			
Specification		Si	%	3			
Classification		Ni	%	4			
Mechanical Properties		P	%	5			
Yield Stress	Mpa	S	%	6			
Tensile Stress	Mpa	Cu	%	7			
Elongation	%	Mo	%	8			
Polarity1		Nb	%	9			
Polarity2				10			
				11			
		Shielding gas					

Gambar 4.13 Form editor database consumable material

IV. 4.13 FORM ABOUT

Form about berisi keterangan program MAG's Pro, informasi yang terdapat di dalam *form* ini antara lain adalah nama *application software* ini, nama perancang program serta tahun pengeluaran program ini. *Form* ini dapat ditampilkan dengan mengaktifkan sub menu *About* pada menu *Help*. Desain *form about* dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut ini.

MAG'S PRO

Copyright © 1999-2000 Offshore Engineering
Refer to AWS D1.1-96

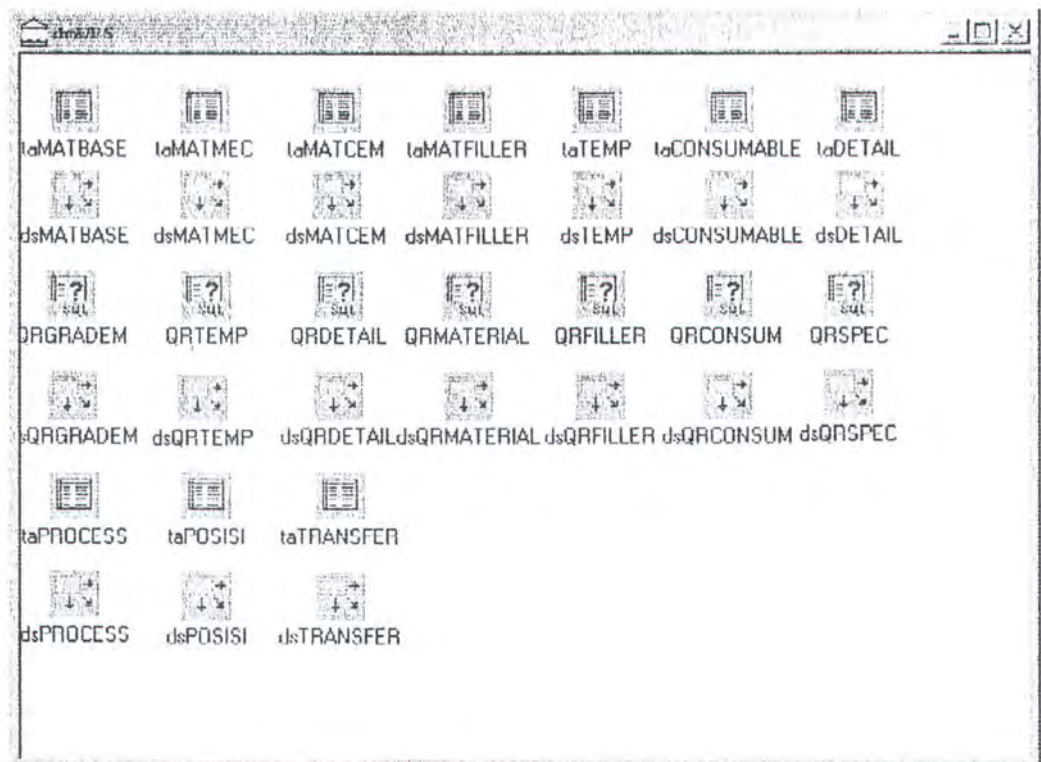
Developed by Dede Ariyandana
dan A. S. H. H. H.
Department of Marine Engineering
Faculty of Engineering
10 November Institute of Technology

OK

Gambar 4.14 Form about

IV.4.14 FORM DATA MODULE

Form data module berfungsi sebagai penampung *database-database* yang telah disusun dan menghubungkannya dengan *form-form* yang telah dijelaskan. Atau dengan kata lain *form* ini berfungsi sebagai *connection* antara tabel-tabel *database* dengan *form-form* yang terdapat pada tampilan program ini. *Form data module* ini berisi tabel-tabel data yang dibutuhkan dalam penyusunan WPS. Untuk menghubungkan antara tabel yang satu dengan yang lain digunakan fasilitas *query* yang juga terdapat pada *form data module* ini. Gambar *form data module* dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut ini.



Gambar 4.15 Form data module

IV.5 KODE PROGRAM

Sebagaimana dijelaskan pada Bab II bahwa Delphi adalah suatu perangkat pengembang untuk membangun program aplikasi berbasis Window dengan bahasa pemrograman yang digunakan adalah Object Pascal, sehingga program ini terdiri dari kode-kode program. Proses penulisan kode-kode program dalam Delphi untuk menyusun program MAG's Pro ini meliputi *variable declaration*, *filter procedure*, penggunaan *event* dan lain-lain pada komponen-komponen yang ada di dalam *form-form* yang telah dijelaskan sebelumnya. Kode-kode program yang ditulis untuk menyusun program MAG's Pro ini disertakan di dalam lampiran.

IV.6 SPESIFIKASI MINIMUM PC UNTUK PROGRAM MAG'S PRO

Program MAG's Pro sebagai hasil tugas akhir ini merupakan *application software* yang berbasis data (*database*) digunakan untuk merancang WPS las busur CO₂ dengan berbagai fungsi tambahan untuk melengkapi *application software* ini. Adapun spesifikasi minimum komputer PC untuk menjalankan *software* ini adalah:

- Processor Pentium 233 MHz
- RAM 16 Mega bytes
- VGA card 2 Mega bytes
- Resolusi layar 800x600 atau 1024x768

IV.7 PENGUJIAN PROGRAM

Setelah program selesai dibuat, maka untuk menguji validitas *application software* MAG's Pro ini perlu dilakukan pengujian program dengan cara membandingkannya dengan WPS yang sudah ada. Sebagai pembanding adalah WPS yang terdapat pada *textbook* Cary. 1994. **Modern Welding Technology**. New Jersey: Regents/Prentice Hall. Figure 6-67 *Short-circuiting transfer schedules*. Halaman 141. Dari WPS yang terdapat pada buku tersebut ditentukan ketebalan sebesar 0.055 inci, tipe sambungan *square groove* dan posisi pengelasan *flat*. Sedangkan *base metal* yang digunakan adalah salah satu jenis material yang terdapat pada *AWS D1.1-98: Structural Welding Code-Steel 16th edition*, yakni ASTM A36.

IV.7.1 DATA PEMBANDING RUNNING PROGRAM

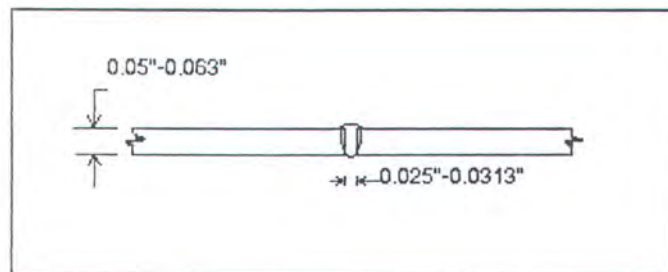
Sesuai dengan buku acuan yang dipakai, maka akan ditentukan data-data input sebagai berikut.

- *Material name = ASTM A3.6-None*
- *Joint type = butt*
- *Position = flat*
- *Material thickness = 0.055 inch*

Dengan variabel-variabel di atas, maka sesuai dengan WPS pada buku **Modern Welding Technology** dan *AWS D.1.1-98 Structural Welding Code-Steel 16th edition*, maka akan didapatkan hasil sebagai berikut:

- *Pass range = 1*

- *Electrode size = 0.035 inch*
- *Current type = DC*
- *Polarity = DCEP*
- *Welding current = 80-110 Ampere*
- *Arc voltage 17-20 Volt*
- *Arc speed = 120 ipm*
- *Travel speed = 30-35 ipm*
- *Shielding gas = CO₂*
- *Gas flow rate = 20-25 cfh*
- *Transfer mode = short circuit*
- *Root opening = 1/2 ketebalan base metal*
- *Joint detail:*



Gambar 4.16 Gambar detail sambungan las

- *Minimum preheat and interpass temperature = tidak ada*
- *Electrode Specification = AWS A5.18*
- *Electrode class = ER70S-X*

IV.7.2 RUNNING PROGRAM

Running program dilakukan untuk menguji validitas aplikasi database yang telah dibuat. Maka dari itu dilakukan pengujian dengan meng-input variabel-variabel sesuai dengan data pembanding yang terdapat pada bagian sebelumnya sebagaimana terlihat pada gambar 4.17

New WPS Document

MAG's Pro
 CO₂ Welding Procedure Specification Software
 Refer to AWS D1.1 - 1998
 Copyright © 1999-2000 Offshore Engineering

Basic Information

Company name	OFFSHORE ENGINEERING		
Identification	4394100036	Revision number	01
Designed by	IR. HUR SYAHROMI	Date	07 April 2000
Authorized by	IR. SOEWEIFY, MEIG.	Date	07 April 2000
Welding Process	GMAW		
Welding Type	SEMI AUTOMATIC		
Supporting PQR No.(s)	PREQUALIFIED		

Material Information

Material Name	ASTM A36-NONE
Material Grade	NONE
Joint Type	BUTT
Position	FLAT
Thickness	0.055 Inch
Backing :	Weld Side :
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> Double

WPS Design Cancel

Current Date : 3 - Mei - 2000 Modified

Gambar 4.17 Input untuk pengujian program

Dengan meng-input variabel-variabel pada *form input* seperti pada gambar 4.17 di atas, maka dengan klik tombol **WPS Design**, maka akan didapatkan output seperti pada gambar 4.18a dan 4.18b sebagai berikut.

Prequalified WPS Design

Welding Procedure Specification Joint Detail

Welding Process: Welding Type: Preheat/Interpass Temperature: °F

Joint Type: Position: Post Heat Temperature: °F

Welding Side: Material Name: Thickness: Inch

Pass Ratio:

Electrode:

Shielding Gas:

Preheat:

Interpass:

Post Heat:

Heat Input:

CO2:

20-25:

Transfer Mode:

Root face (inch):

Root opening & weld size:

Angle (degree):

Electrode Catalogue Material Description Edit Back WPS Report

Electrode Catalogue

Basemetal Characteristic

ASTM A36-NONE

Chemical Composition

C = 0.25 %	Cu = 0.2 %
Si = 0.4 %	P = 0.04 %
Mn = 0.7 %	S = 0.05 %
Ni = 0 %	Mo = 0 %
Cr = 0 %	Nb = 0 %

Mechanical Properties

Minimum Tensile Strength = 460 MPa
Maximum Tensile Strength = 560 MPa
Minimum Yield Strength = 250 MPa
Maximum Yield Strength = 270 MPa
Material Elongation = 20 %

Electrode Catalogue

OK Antrod 12.51

Specification	Diam. (mm)	Ampere (A)	Voltage (V) or position
AWS A5.18	0.6	30-100	15-20
Classification: E70S-6	0.8	60-200	18-24
Shielding gas: pure CO2 or Ar/20%CO2	1.0	70-250	18-26
	1.2	80-300	18-32
	1.4	120-380	18-34
	1.6	150-420	22-36
		225-550	28-38

Chemical Composition

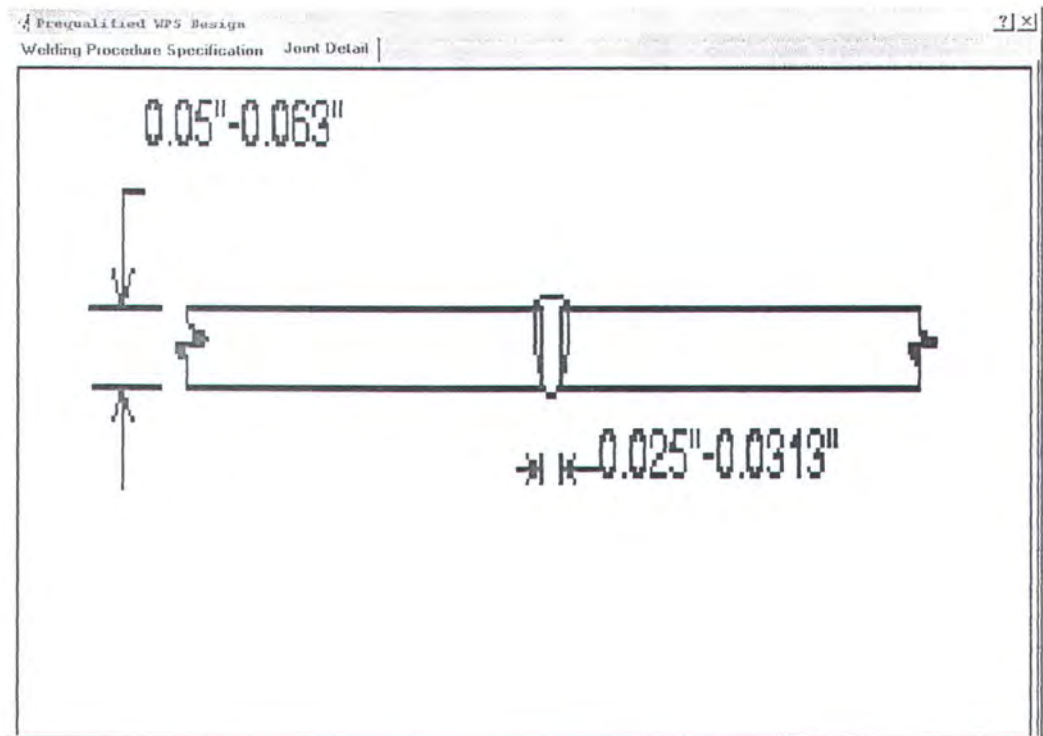
C = 0.08 %	Cu = 0 %
Si = 0.9 %	P = 0 %
Mn = 1.5 %	S = 0 %
Ni = 0 %	Mo = 0 %
Cr = 0 %	Nb = 0 %

Mechanical Properties

Yield Strength = 475 MPa
Tensile Strength = 560 MPa
Elongation = 24 %
Current Type = DCEP

Close

Gambar 4.18a Halaman pertama output hasil running program



Gambar 4.18b Halaman kedua ouput hasil running program

Dengan klik pada tombol **WPS Report**, kemudian mencetak *WPS Report* yang dihasilkan, maka akan didapatkan hasil *report* seperti yang terlampir pada halaman berikut ini.



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)____
PREQUALIFIED____ QUALIFIED BY TESTING____
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR)____

Company Name OFFSHORE ENGINEERING
Welding Process GMAW
Supporting PQR No. PERQUALIFIED

Identification 4394/100/036
Revision 01 Date : 07/04/00 By IR. NUR SYAHRONI
Authorized by IR. SOEWEIFY, M ENG. Date : 07/04/00
Welding Type SEMI AUTOMATIC

JOINT DESIGN USED

Type BUTT SINGLE

Backing FALSE

Root opening equal to 1/2 thickness

Groove angle

BASE METALS

Material Specification ASTM A36-NONE
Thickness 0.055

FILLER METALS

AWS Specification AWS A5.18
AWS Classification ER70S-6
Product name OK Autrod 12.51

SHIELDING

Gas composition CO2
Flow rate 20-25 cfh
Gas cup size

PREHEAT

Preheat Temp. Min NONE
Interpass Temp. Min NONE

POSITION

Position of Groove/Fillet 1 G FLAT
Vertical Progression NONE

ELECTRICAL CHARACTERISTIC

Transfer Mode (GMAW) SHORT CIRCUIT
Current Type DC Polarity DCEP

TECHNIQUE

Stringer or Weave Bead
Multi-Pass or Single Pass (per side)
Number of Electrode : - Longitudinal
- Lateral
- Angle

Peening

Interpass Cleaning

POSTWELD HEAT TREATMENT

Temp. NONE
Time

WELDING PROCEDURE

Pass	Process	Filler Metals		Current			Arc voltage	Travel Speed	JOINT DETAIL
		Class	Diam.	Type	Polarity	Amp			
	GMAW	ER70S-6	0.035	DC	DCEP	80-110	17-20	30-35	

Output hasil *running* program yang didapatkan ternyata sesuai dengan data WPS yang terdapat pada *textbook* Cary. 1994. **Modern Welding Technology**. New Jersey: Regents/Prentice Hall. Figure 6-67 Short-circuiting transfer schedules. Halaman 141 dan *AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel 16th edition*.

Dapat disimpulkan dari hasil *running* program MAG's Pro didapatkan hasil yang sesuai dengan data WPS yang terdapat di *text book* dan standar. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa validitas program MAG's Pro telah teruji.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Sesuai dengan tujuan dan permasalahan penulisan tugas akhir ini, maka telah didapatkan program MAG's Pro sebagai perangkat lunak untuk perancangan prosedur pengelasan las busur CO₂. MAG's Pro merupakan *database application software* untuk perancangan prosedur pengelasan las busur CO₂ yang dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Delphi 4* dengan didukung oleh tabel-tabel *database* yang disusun dengan program *Database Desktop 7.0*. Dari proses pembuatan program ini disimpulkan bahwa pembuatan perangkat lunak untuk perancangan prosedur pengelasan adalah proses yang memerlukan pengetahuan yang bersifat multi disipliner, meliputi pengetahuan dasar pengelasan, cara membaca *standard code*, pengetahuan metalurgi, konsep *database*, logika pemrograman, penguasaan bahasa pemrograman dan lain-lain, sehingga cukup memakan waktu dan biaya.

V.2. SARAN

MAG's Pro sebagai *application software* hanya merupakan langkah awal pembuatan program dalam bidang pengelasan, sehingga di dalamnya masih terdapat beberapa keterbatasan antara lain:

- Hanya dapat digunakan untuk satu proses pengelasan, yaitu MAG GMAW atau las busur CO₂ saja.

- Hanya berlaku untuk standar pengelasan *AWS D1.1-98 Structural Welding Code-Steel 16th edition*.
- Standar *base metal*, sesuai dengan AWS D1.1-98 mengacu pada ASTM saja dan belum ada konversi untuk *base metal* yang materialnya menggunakan standar lain.
- Tidak ada variasi jumlah pass untuk setiap WPS yang dihasilkan (dapat dilakukan dengan memperhitungkan variabel *heat input*).
- Posisi pengelasan hanya *downhand*, *horizontal*, *vertical* dan *overhead*.

Dengan keterbatasan-keterbatasan tersebut, penulis tetap berharap agar *application software* ini tetap dapat membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas perancangan prosedur pengelasan khususnya las busur CO₂ sekaligus sebagai program *computer aided learning* bagi mahasiswa yang mempelajari bidang pengelasan agar memahami langkah-langkah penyusunan prosedur pengelasan, khususnya las busur CO₂. Penulis berharap kehadiran MAG's Pro dapat memacu berkembangnya *application software* yang lain yang memiliki kegunaan yang sama dengan kemampuan yang lebih baik karena masih banyak hal-hal yang perlu dikembangkan lagi. Dengan demikian untuk menghasilkan sebuah perangkat lunak untuk perancangan prosedur pengelasan secara komersial masih diperlukan banyak penyempurnaan. Saran penulis, untuk mendapatkan *software* pengelasan yang memenuhi persyaratan perlu dilakukan konsultasi penuh dengan pihak-pihak yang berkecimpung di bidang pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Althouse, A.D., C. H. Turnquist, dan W. A. Bowditch. 1970. **Modern Welding**. South Holland : The Goodheart-Willcox Co., Inc.
- American Welding Society. 1998. **ANSI/AWS D.1.1-98: Structural Welding Code-Steel 16th edition**. Miami:AWS.
- Cary, H. B. 1994. **Modern Welding Technology**. New Jersey : Regents/Prentice Hall.
- Computer Engineering, 1999. "Welding Software". [Http://www. Computereng.com](http://www.Computereng.com). (December)
- Donoval, D., dan R. Harman. 1992. "Computer-Aided Learning in Microelectronics, Based on Modeling and Simulation". **The International Journal of Engineering Education**. Diedit oleh M. Wald. 9: 477-483.
- ESAB International AB. 1998. **Product Catalogue, 1998 edition**. Goteberg: ESAB International AB.
- Giachino, J. W., W. Weeks, dan G. S. Johnson. 1971. **Welding Technology**. Chicago : American Technical Society.
- Henderson Ken, 1996. **Database Developer's Guide with Delphi 2**. Indianapolis: Sams Publishing.
- Heston, T. 1998. "How to Make a Better Welder." **Welding Journal**. 77 (August):31-35.

- Houldcroft, P. dan R. John. 1988. **Welding and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Process**. Cambridge: Woodhead-Faulkner Ltd.
- Kennedy, G. A. 1980. **Welding Technology**. Indianapolis : The Bobbs-Merril Company, Inc.
- Kobelco. **Welding Handbook**. Kobe Steel Ltd. Welding Division
- Little, R. L. 1982. **Welding And Welding Technology**. NewYork : Tata Mc Graw-Hill Publishing Co., Ltd.
- Matcho, J. dan Faulkner, D. 1997. **Panduan Penggunaan Delphi**. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Politeknik Perkapalan ITS, Kanwil Depnaker Jatim. 1992. **Pendidikan dan Pelatihan Inspektur Las: Teknologi Las Proses**. Surabaya: Politeknik Perkapalan ITS Surabaya.
- Pramono, D. 1999a. **Mudah Menguasai Delphi 3 Jilid I**. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Pramono, D. 1999b. **Mudah Menguasai Delphi 3 Jilid II**. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Soeweify, 1995. **Teknologi Las I**. Surabaya : Teknik Perkapalan ITS.
- Sosnin, H. A. 1975. **Arc Welding Instructions For The Beginner**. Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.
- Sullivan, D. 1998. "The Gas Metal Arc Welding Process Celebrates a 50th Anniversary". **Welding Journal**. 77 (September):53-54.

The Lincoln Electric Company. 1973. **The Procedure Handbook of Arc Welding**. Cleveland: The Lincoln Electric Company.

Tim Penelitian dan Pengembangan Wahana Komputer. 1997. **Pemrograman Praktis Dengan Delphi 2.0**. Semarang: Wahana Komputer; Yogyakarta: Andi.

TWI Software 1998. "Welding Software". [Http://www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk) . (December).

Wiryosumarto, H. dan T. Okumura 1994. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta : Pradnya Paramita.

LAMPIRAN



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

Kampus ITS - Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251-5 Psw. 1104-7 Telex 34224 Fax 5947254

TUGAS AKHIR (OE.1701)

No. 110/K03.4.4/PP/99

MATA KULIAH	:	TUGAS AKHIR
NOMOR MATA KULIAH	:	OE.1701
NAMA MAHASISWA	:	Djoko Ari Wibowo
NOMOR POKOK	:	4394100036
TGL.DIBERIKAN TUGAS	:	5 September 1999
TGL.SELESAINYA TUGAS	:	5 Pebruari 2000
DOSEN PEMBIMBING	:	1. Ir. Soeweify,M.Eng 2. Ir. Nursyahroni

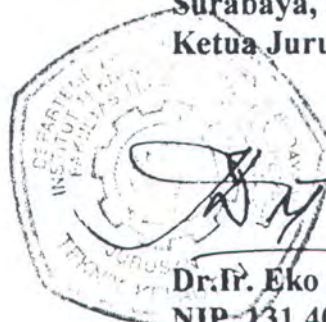
THEMA/URAIAN/DATA-DATA YANG DIBERIKAN/JUDUL TUGAS AKHIR :

**PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK UNTUK PERANCANGAN PROSEDUR PENGELASA
LAS BUSUR CO2 BERDASARKAN STANDAR AWS**

DIBUAT RANGKAP 4 :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dekan FTK-ITS
3. Dosen Pembimbing
4. Arsip Jurusan

Surabaya, 5 September 1999
Ketua Jurusan ;



**Dr.Ir. Eko Budi Djatmiko,MSc
NIP.131 407 592**



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS – Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251 – 5 Psw. 1104 – 1107 Fax 5936852

LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Djoko Ari Wibowo
NOMOR POKOK : 4394 100 036
DOSEN PEMBIMBING I : Ir. Soeweify M. Eng.
NIP : 130 386 579
TUGAS DIMULAI : 5 September 1999
DISELESAIKAN :
JUDUL TUGAS AKHIR : Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Perancangan
Prosedur Pengelasan Las Busur CO₂ Berdasarkan
Standar AWS.

No.	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMB.
1	21 Maret 2000	Lay out program	
2	23 Maret 2000	Langkah-langkah penyusunan WPS	
3	28 Maret 2000	Penyusunan data WPS	
4	3 April 2000	Data WPS	
5	6 April 2000	Desain Sambungan	
6	13 April 2000	Bab I	
7	17 April 2000	Bab II	
8	20 April 2000	Bab III	
9	22 April 2000	Bab IV	
10	27 April 2000	Bab IV, Bab V dan Abstrak	

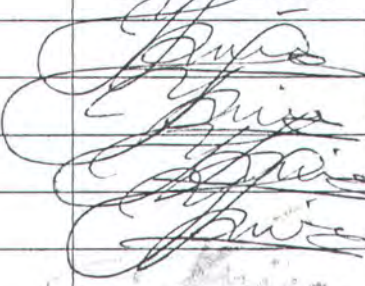
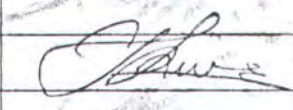
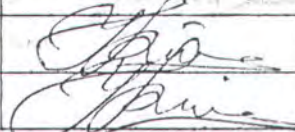


DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS – Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251 – 5 Psw. 1104 – 1107 Fax 5936852

LEMBAR PRESENTASI KONSULTASI TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Djoko Ari Wibowo
NOMOR POKOK : 4394 100 036
DOSEN PEMBIMBING II : Ir. Nur Syahroni
NIP : 132 231 143
TUGAS DIMULAI : 5 September 1999
DISELESAIKAN :
JUDUL TUGAS AKHIR : Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Perancangan
Prosedur Pengelasan Las Busur CO₂ Berdasarkan
Standar AWS

No.	TANGGAL	KONSULTASI MENGENAI	TANDA TANGAN DOSEN PEMB.
1	16 Maret 2000	Pencarian data	
2	29 Maret 2000	Lay out program	
3	3 April 2000	Penyusunan data WPS	
4	8 April 2000	Bab I, Bab II	
5	14 April 2000	Bab I, Bab II, Bab III	
6	18 April 2000	Bab III, Bab IV	
7	20 April 2000	Bab IV	
8	22 April 2000	Bab IV	
9	24 April 2000	Bab V	
10	26 April 2000	Bab I, II, III, IV, V dan Abstrak	



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Kampus ITS – Sukolilo, Surabaya 60111 Telp. 5928105, 5994251 – 5 Psw. 1104 – 1107 Fax 5936852

FORMULIR EVALUASI KEMAJUAN TUGAS AKHIR

Kami, dosen pembimbing Tugas Akhir dari Mahasiswa :

Nama : **Djoko Ari Wibowo**

NRP : **4394 100 036**

Judul TA : **Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Perancangan
Prosedur Pengelasan Las Busur CO₂ Berdasarkan
Standar AWS**

Setelah mempertimbangkan butir-butir berikut :

- a. Keaktifan mahasiswa dalam mengadakan asistensi.
- b. Proporsi Materi TA yang telah diselesaikan saat ini
- c. Prospek penyelesaian TA dalam jangka waktu yang relevan.
- d. Masa studi yang tersisa.

Dengan ini kami mengusulkan agar TA mahasiswa tersebut diputuskan untuk :

- ☐ Dibatalkan keseluruhannya dan mengajukan judul baru.
- ☐ Diperkenankan menyelesaikan tanpa perubahan.
- ☐ Diperkenankan mengikuti Ujian Tugas Akhir dengan Judul :
**Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Perancangan Prosedur
Pengelasan Las Busur CO₂ Berdasarkan Standar AWS**

Selanjutnya mahasiswa diatas diharuskan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhirnya dan dapat mengikuti ujian Tugas Akhir untuk Wisuda

Surabaya, Mei 2000

Dosen Pembimbing

Ir. Soeweify, M. Eng.
NIP. 130 386 579

UNIT UTAMA

```

unit Sclmain;

interface

uses Windows, Classes, Graphics, Forms, Controls,
Menus,
  Dialogs, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, ComCtrls;

type
  TSDIAppForm = class(TForm)
    SDIAppMenu: TMainMenu;
    FileMenu: TMenuItem;
    OpenItem: TMenuItem;
    SaveItem: TMenuItem;
    ExitItem: TMenuItem;
    NI: TMenuItem;
    OpenDialog: TOpenDialog;
    SaveDialog: TSaveDialog;
    Help1: TMenuItem;
    About1: TMenuItem;
    SpeedPanel: TPanel;
    ExitBtn: TSpeedButton;
    New1: TMenuItem;
    DataBase1: TMenuItem;
    BaseMetal1: TMenuItem;
    ConsumableMaterial1: TMenuItem;
    JointDetail1: TMenuItem;
    WPSRecord1: TMenuItem;
    Search1: TMenuItem;
    BasemetalProperties1: TMenuItem;
    ConsumableMaterialProperties1: TMenuItem;
    NewBtn: TSpeedButton;
    OpenBtn: TSpeedButton;
    SaveBtn: TSpeedButton;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    SpeedButton2: TSpeedButton;
    SpeedButton3: TSpeedButton;
    SpeedButton4: TSpeedButton;
    SpeedButton6: TSpeedButton;
    procedure ExitItemClick(Sender: TObject);
    procedure OpenItemClick(Sender: TObject);
    procedure SaveItemClick(Sender: TObject);
    procedure About1Click(Sender: TObject);
    procedure New1Click(Sender: TObject);
    procedure FormResize(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure JointDetail1Click(Sender: TObject);
    procedure ConsumableMaterial1Click(Sender:
TObject);
    procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  SDIAppForm: TSDIAppForm;
  Const
    Tinggi=40;
    Lebar=1014;
  implementation
    uses About, Input, Detailedit, ModulWPS, CariOut,
      ConsumMaterial;

{$R *.DFM}

```

```

procedure TSDIAppForm.ExitItemClick(Sender:
TObject);
begin
  Close;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.OpenItemClick(Sender:
TObject);
begin
  OpenDialog.Execute;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.SaveItemClick(Sender:
TObject);
begin
  SaveDialog.Execute;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.About1Click(Sender:
TObject);
begin
  AboutBox:= TAboutBox.Create(Self);
  AboutBox.ShowModal;
  AboutBox.Free;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.New1Click(Sender: TObject);
begin
  SaveBtn.Enabled:=True;
  frInput:=TfrInput.Create(Self);
  frInput.Show;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.FormResize(Sender: TObject);
begin
  ClientHeight:=Tinggi;
  ClientWidth:=Lebar;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  top:=0;
  left:=0;
  {SDIAppForm.New1.Click;}
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.JointDetail1Click(Sender:
TObject);
begin
  dmWPS.taDETAIL.Last;
  frDETAIL:=TfrDETAIL.Create(Self);
  frDETAIL.ShowModal;
  frDETAIL.Free;
end;

```

```

procedure
TSDIAppForm.ConsumableMaterial1Click(Sender:
TObject);
begin
  frCONSUMEDIT:=TfrCONSUMEDIT.Create(Self);
  frCONSUMEDIT.ShowModal;
  frCONSUMEDIT.Free;
end;

```

```

procedure TSDIAppForm.SpeedButton6Click(Sender:
TObject);
begin

```



```

if
(WinExec('PBRUSH.EXE',SW_SHOWNORMAL)<32)then
    MessageDlg('Unable to Load Paint
Brush',mterror,[mbOK],0);
end;

```

```
end.
```

```
unit Splash;
```

```
interface
```

```

uses
    SysUtils, Windows, Messages, Classes, Graphics,
    Controls,
    Forms, Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, ComCtrls, jpeg;

```

```
type
```

```

TSplashForm = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Image1: TImage;
    Label3: TLabel;
    PBX: TProgressBar;
    Label10: TLabel;
    Panel2: TPanel;
    ProductName: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Comments: TLabel;
    Image3: TImage;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Copyright: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label111: TLabel;
    Image2: TImage;
    Label12: TLabel;

```

```
end;
```

```
var
```

```
SplashForm: TSplashForm;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DIPM }
```

```
end.
```

```
UNIT INPUT
```

```
unit Input;
```

```
interface
```

```

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
    Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Buttons, Mask, DBCtrls, ComCtrls, ExtCtrls;

```

```
type
```

```

TfrInput = class(TForm)
    StatusBar1: TStatusBar;
    Panel2: TPanel;

```

```

Panel3: TPanel;
Panel4: TPanel;
GroupBox1: TGroupBox;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label8: TLabel;
Label13: TLabel;
Label26: TLabel;
Label7: TLabel;
CONAME: TEdit;
IDENT: TEdit;
REVNUM: TEdit;
DESIGNER: TEdit;
APPROVAL: TEdit;
WPROC: TComboBox;
WTYPE: TComboBox;
SPQRN: TEdit;
GroupBox2: TGroupBox;
Bevel1: TBevel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label17: TLabel;
Label37: TLabel;
MATGRADE: TDBText;
MATENAME: TDBLookupComboBox;
JTYPE: TComboBox;
WPOS: TComboBox;
Edit1: TEdit;
BACK: TCheckBox;
WSIDE: TCheckBox;
bbMAKEWPS: TBitBtn;
bbCANCIL: TBitBtn;
Panel1: TPanel;
Image1: TImage;
Label16: TLabel;
Label18: TLabel;
Comments: TLabel;
Copyright: TLabel;
Image2: TImage;
Label19: TLabel;
DATEDES: TDateTimePicker;
DATEAPP: TDateTimePicker;
Label20: TLabel;
procedure CONAMEKeyPress(Sender: TObject; var
Key: Char);
procedure bbMAKEWPSClick(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure MATENAMEExit(Sender: TObject);
procedure CONAMEChange(Sender: TObject);
procedure Edit1Exit(Sender: TObject);
procedure bbCANCILClick(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
NAMAT: Fgrade, Fdetail, CNM, WNO, RNO, DBY, DTBY,
APR, DTAP, SPQR, WPRC, WTP, WJT, WPO,
WSD, BCK, WJC, Fimp: String;
Tcbal, v1, v2: Double;
Procedure MinMax1 (aval: double; var min: double; var
max: double);
public
    { Public declarations }

```



```

end;

var
  frInput: TfrInput;

implementation

{$R *.DFM}
uses Output, ModulWPS, Animasi{, WPSRep};

procedure TfrInput.CONAME.KeyPress(Sender:
TObject; var Key: Char);
begin
  if (key = #13) then
    SendMessage(Handle, WM_NEXTDLGCTL, 0, 0);
end;

procedure TfrInput.bbMAKEWPSClick(Sender:
TObject);
begin
  frAnimasi:=TfrAnimasi.Create(self);
  frAnimasi.Show;
  frAnimasi.Animate1.Active:=True;
  frAnimasi.Update;

  CNM:=CONAME.Text;WNO:=IDENT.Text;RNO:=R
EVNUM.Text;DBY:=DESIGNER.Text;

  DTBY:=DATETOSTR(DATEDES.DATE);APR:=APP
ROVAL.Text;DTAP:=DATETOSTR(DATEAPP.DAT
E);SPQR:=SPQRN.Text;

  WPRC:=WPROC.Text;WTP:=WTYPE.Text;WJT:=JTY
PE.Text;
  Tebal:=StrToFloat(edit1.text);
  if WJT='GROOVE' Then WJC:='G'
  else WJC:='F';
  WPO:=WPOS.Text;
  if (BACK.Checked=true) then BCK:='TRUE'
  else BCK:='FALSE';
  if (WSIDE.Checked=true) then WSD:='DOUBLE'
  else WSD:='SINGLE';
  dmWPS.QRDETAIL.Close;
  dmWPS.QRTEMP.Close;
  MinMax1(Tebal,v1,v2);
  Ftmp:='(MINTHICK<='+'''+FloatToStr(v1)+''''+AND
MAXTHICK>='+'''+FloatToStr(v2)+''''+AND
FloatToStr(v2)+''''+)';
  dmWPS.QRTEMP.Filtered:=True;
  dmWPS.QRTEMP.Filter:=Ftmp;
  dmWPS.QRTEMP.Open;
  Fdetail:='(WPROC='+'''+WPRC+''''+AND
JOINTCODE='+'''+WJC+''''+AND POSCODE='+
'''+WPO+''''+AND
WELDTYPE='+'''+WSD+''''+AND
MINTHICK<='+'''+FloatToStr(Tebal)+'
'''+AND
MAXTHICK>='+'''+FloatToStr(Tebal)+''''+AND
BACKING='+'''+BCK+''''+)';
  dmWPS.QRDETAIL.Filtered:=True;
  dmWPS.QRDETAIL.Filter:=Fdetail;
  dmWPS.QRDETAIL.Open;

  frAnimasi.Animate1.Active:=False;
  frAnimasi.Free;

  frWPS:=TfrWPS.Create(Self);
  With frWPS do
    begin

```

```

WXP.Text:=WPRC;JXT.Text:=WJT;WXS.Text:=WSD;
WXT.Text:=WTP;

PXN.Text:=WPO;MXN.Text:=NAMAT;TXB.Text:=Flo
atToStr(Tebal);
    end;
frWPS.ShowModal;
frWPS.Free;
end;

procedure TfrInput.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  { top:=86;
  Left:=52;
  DATEDES.Date:=Date;
  DATEAPP.Date:=Date;
  StatusBar1.Panels.Items[0].Text:='Current Date :
'+(FormatDateTime('d - mmm - yyyy',Date));
  end;

procedure TfrInput.MATENAMEExit(Sender: TObject);
begin
  NAMAT:=MATENAME.Text;
  Fgrade:='MATDESC ='+'''+NAMAT+'''';
  dmWPS.QRGRADEM.Close;
  dmWPS.QRGRADEM.Filtered:=True;
  dmWPS.QRGRADEM.Filter:=Fgrade;
  dmWPS.QRGRADEM.Open;
  MATGRADE.DATAFIELD:='GRADE';
  end;

procedure TfrInput.CONAMEChange(Sender: TObject);
begin
  If(CONAME.Text<>') then
    StatusBar1.Panels.Items[1].Text:='Modified'
  Else
    StatusBar1.Panels.Items[1].Text:='';
  end;

procedure TfrInput.Edit1Exit(Sender: TObject);
begin
  Try
    Tebal:=StrToFloat(Edit1.Text);
  Except
    on EConvertError do
      begin
        Application.MessageBox('Invalid Numeric
Input','Error',MB_OK);
        Tebal:=1;
      end;
    end;
  end;

procedure TfrInput.bbCANCELClick(Sender: TObject);
begin
  CONAME.Clear;
  IDENT.Clear;
  REVNUM.Clear;
  DESIGNER.Clear;
  APPROVAL.Clear;
  SPQRN.Clear;
  end;
Procedure TfrINPUT.MinMax1(aval:double;var
min:double;var max:double);
var vx1,vx2:double;
begin
  With dmWPS do
    begin
      taTEMP.First;
      while not taTEMP.Eof do

```

```

begin
    vx1:=taTEMPMINTHICK.Value;
    vx2:=taTEMPMAXTHICK.Value;
    if (aval >=vx1) and (aval <=vx2) then
        begin
            min:=vx1;
            max:=vx2;
            exit;
        end
    else taTEMP.Next;
end;
end;

```

UNIT ANIMASI

unit Animasi;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls;

type

```

TfrAnimasi = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Animate1: TAnimate;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;

```

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

frAnimasi: TfrAnimasi;

implementation

{ \$R *.DFM }

UNIT INFORMASI MATERIAL

unit Output;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
DBCtrls, Mask, ExtCtrls, DBCGrids, StdCtrls, Buttons,
ComCtrls, jpeg;

type

```

TfrWPS = class(TForm)
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet2: TTabSheet;
    Panel1: TPanel;
    BitBtn4: TBitBtn;
    BitBtn6: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    Bevel7: TBevel;
    DBCtrlGrid1: TDBCtrGrid;
    Label28: TLabel;
    Label29: TLabel;
    Label30: TLabel;
    Label32: TLabel;
    Label35: TLabel;

```

```

Label33: TLabel;
Label38: TLabel;
Label31: TLabel;
Label34: TLabel;
Label4: TLabel;
Label7: TLabel;
DBEdit1: TDBEdit;
DBEdit2: TDBEdit;
DBEdit3: TDBEdit;
DBEdit4: TDBEdit;
DBEdit5: TDBEdit;
DBEdit6: TDBEdit;
DBEdit7: TDBEdit;
DBEdit8: TDBEdit;
DBEdit9: TDBEdit;
DBEdit10: TDBEdit;
DBEdit11: TDBEdit;
DBEdit12: TDBEdit;
DBEdit13: TDBEdit;
DBEdit14: TDBEdit;
DBEdit15: TDBEdit;
DBEdit16: TDBEdit;
DBEdit17: TDBEdit;
DBEdit18: TDBEdit;
DBEdit19: TDBEdit;
DBEdit20: TDBEdit;
DBEdit21: TDBEdit;
DBEdit22: TDBEdit;
DBEdit23: TDBEdit;
DBEdit24: TDBEdit;
DBEdit38: TDBEdit;
DBEdit25: TDBEdit;
DBEdit26: TDBEdit;
DBEdit27: TDBEdit;
DBEdit28: TDBEdit;
DBEdit29: TDBEdit;
DBEdit30: TDBEdit;
DBEdit31: TDBEdit;
DBEdit32: TDBEdit;
DBEdit33: TDBEdit;
DBEdit35: TDBEdit;
DBEdit36: TDBEdit;
DBEdit37: TDBEdit;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
DBEdit39: TDBEdit;
Label8: TLabel;
DBEdit40: TDBEdit;
Label9: TLabel;
DBEdit41: TDBEdit;
TabSheet1: TTabSheet;
Image1: TImage;
Panel2: TPanel;
Label18: TLabel;
Label21: TLabel;
Label20: TLabel;
WXP: TEdit;
JXT: TEdit;
WXS: TEdit;
Label19: TLabel;
Label23: TLabel;
Label22: TLabel;
WXT: TEdit;
PXN: TEdit;
MXN: TEdit;
Label1: TLabel;
Label24: TLabel;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label25: TLabel;
TXB: TEdit;

```



```

DBEdit34: TDBEdit;
DBImage1: TDBImage;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn2: TBitBtn;
Label10: TLabel;
DBEdit42: TDBEdit;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
procedure DBEdit25Change(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure DBEdit13Change(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

private
{ Private declarations }
fmaterial, fFILLER, FILTERFILLER: string;
fc1, fc2, gm, sa1, sa2, sma1, sma2: string;

public
{ Public declarations }
end;

var
frWPS: TfrWPS;

implementation

{$R *.DFM}
Uses
ModulWPS, MaterialDisplay, Consumat, WPSRep, CanOut,
Edit_Output;

procedure TfrWPS.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
frMATERIAL:=TfrMATERIAL.Create(Self);
dmWPS.QRMATERIAL.Close;
fmaterial:='MATERIAL_DESC='+''+MXN.Text+'';
dmWPS.QRMATERIAL.Filtered:=true;
dmWPS.QRMATERIAL.Filter:=fmaterial;
dmWPS.QRMATERIAL.Open;
frMATERIAL.Edit1.Text:=TXB.Text;
frMATERIAL.ShowModal;
frMATERIAL.Free;
end;

procedure TfrWPS.BitBtn6Click(Sender: TObject);
begin
CLOSE;
end;

procedure TfrWPS.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
frSEARCH:=TfrSEARCH.Create(Self);

FILLER:='MATERIAL_DESC='+''+MXN.Text+'';
dmWPS.QRFILLER.Close;
dmWPS.QRFILLER.Filtered:=true;
dmWPS.QRFILLER.Filter:=FILLER;
dmWPS.QRFILLER.Open;
fc1:=dmWPS.QRFILLER.FCAW1.Value;
fc2:=dmWPS.QRFILLER.FCAW2.Value;
gm:=dmWPS.QRFILLER.GMAW.Value;
sa1:=dmWPS.QRFILLER.SAW1.Value;
sa2:=dmWPS.QRFILLER.SAW2.Value;
sma1:=dmWPS.QRFILLER.SMAW1.Value;

```

```

sma2:=dmWPS.QRFILLER.SMAW2.Value;
if (WXP.Text='SMAW') then

FILTERFILLER:='((SPEC='+''+sma1+''+')OR(SPEC=
'+''+
'''+sma2+'''+'))';
else if (WXP.Text='FCAW') then

FILTERFILLER:='((SPEC='+''+fc1+'''+)OR(SPEC=
'+''+
'''+fc2+'''+'))';
else if (WXP.Text='GMAW') then
FILTERFILLER:='SPEC='+''+gm+''';
else

FILTERFILLER:='((SPEC='+''+sa1+'''+)OR(SPEC=
'+''+
'''+sa2+'''+'))';
dmWPS.QRCONSUM.Close;
dmWPS.QRCONSUM.Filtered:=true;
dmWPS.QRCONSUM.Filter:=FILTERFILLER;
dmWPS.QRCONSUM.Open;

dmWPS.QRMATERIAL.Close;
fmaterial:='MATERIAL_DESC='+''+MXN.Text+'';
dmWPS.QRMATERIAL.Filtered:=true;
dmWPS.QRMATERIAL.Filter:=fmaterial;
dmWPS.QRMATERIAL.Open;

frSEARCH.ShowModal;
frSEARCH.Free;

end;

procedure TfrWPS.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
frREPORT:=TfrREPORT.Create(Self);
frREPORT.WELDPROCESS.Caption:=WXP.Text;
frREPORT.PRXL.Caption:=WXP.Text;
frREPORT.WELDTYPE.Caption:=WXT.Text;
frREPORT.MATDESC.Caption:=MXN.Text;
frREPORT.THIX.Caption:=TXB.Text;
frREPORT.TRMODE.Caption:=DBEDIT38.Text;
frREPORT.WPSreport.Preview;
frREPORT.Free;
end;

procedure TfrWPS.DBEdit25Change(Sender: TObject);
begin
if (DBEdit25.Text<>'') then
DBEdit28.DataField:='CURTYPE';
DBEdit29.DataField:='POLARITY';
DBEdit35.DataField:='SHIELDING';
end;

procedure TfrWPS.FormCreate(Sender: TObject);
begin
{ top:=86;
Left:=1; }
end;

procedure TfrWPS.DBEdit13Change(Sender: TObject);
begin
if DBEdit13.Text<>'') then
DBEdit16.DataField:='CURTYPE';
DBEdit17.DataField:='POLARITY';
DBEdit22.DataField:='SHIELDING';
end;

```



```

procedure TfrWPS.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  frEdit_WPS:=TfrEdit_WPS.Create(self);
  frEdit_WPS.WXP.Text:=WXP.Text;
  frEdit_WPS.JXT.Text:=JXT.Text;
  frEdit_WPS.WXS.Text:=WXS.Text;
  frEdit_WPS.WXT.Text:=WXT.Text;
  frEdit_WPS.PXN.Text:=PXN.Text;
  frEdit_WPS.MXN.Text:=MXN.Text;
  frEdit_WPS.TXB.Text:=TXB.Text;

  with frEdit_WPS do
  begin
    Edit34.Text:=DBEdit34.Text;
    Edit1.Text:=DBEdit1.Text;
    Edit2.Text:=DBEdit2.Text;
    Edit3.Text:=DBEdit3.Text;
    Edit4.Text:=DBEdit4.Text;
    Edit5.Text:=DBEdit5.Text;
    Edit6.Text:=DBEdit6.Text;
    Edit7.Text:=DBEdit7.Text;
    Edit8.Text:=DBEdit8.Text;
    Edit9.Text:=DBEdit9.Text;
    Edit10.Text:=DBEdit10.Text;
    Edit11.Text:=DBEdit11.Text;
    Edit12.Text:=DBEdit12.Text;
    Edit13.Text:=DBEdit13.Text;
    Edit14.Text:=DBEdit14.Text;
    Edit15.Text:=DBEdit15.Text;
    Edit16.Text:=DBEdit16.Text;
    Edit17.Text:=DBEdit17.Text;
    Edit18.Text:=DBEdit18.Text;
    Edit19.Text:=DBEdit19.Text;
    Edit20.Text:=DBEdit20.Text;
    Edit21.Text:=DBEdit21.Text;
    Edit22.Text:=DBEdit22.Text;
    Edit23.Text:=DBEdit23.Text;
    Edit24.Text:=DBEdit24.Text;
    Edit25.Text:=DBEdit25.Text;
    Edit26.Text:=DBEdit26.Text;
    Edit27.Text:=DBEdit27.Text;
    Edit28.Text:=DBEdit28.Text;
    Edit29.Text:=DBEdit29.Text;
    Edit30.Text:=DBEdit30.Text;
    Edit31.Text:=DBEdit31.Text;
    Edit32.Text:=DBEdit32.Text;
    Edit33.Text:=DBEdit33.Text;
    Edit34.Text:=DBEdit34.Text;
    Edit35.Text:=DBEdit35.Text;
    Edit36.Text:=DBEdit36.Text;
    Edit37.Text:=DBEdit37.Text;
    Edit38.Text:=DBEdit38.Text;
    Edit39.Text:=DBEdit39.Text;
    Edit40.Text:=DBEdit40.Text;
    Edit41.Text:=DBEdit41.Text;
    Edit42.Text:=DBEdit42.Text;

    end ;
    frEdit_WPS.ShowModal;
    frEdit_WPS.Free;

  end;

end.

```

**UNIT INFORMASI MAERIAL INDUK DAN
MATERIAL TERUMPAN**

unit CariOut;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, DBCtrls, ExtCtrls, DBCGrids, Buttons, Mask,
ComCtrls;

type

```

TfrSEARCH = class(TForm)
  DBCtrlGrid1: TDBCtrlGrid;
  Bevel1: TBevel;
  DBText1: TDBText;
  DBText2: TDBText;
  DBText3: TDBText;
  DBText4: TDBText;
  DBText5: TDBText;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  DBText6: TDBText;
  Label5: TLabel;
  DBText7: TDBText;
  DBText8: TDBText;
  DBText9: TDBText;
  DBText10: TDBText;
  Label6: TLabel;
  DBText11: TDBText;
  DBText12: TDBText;
  DBText13: TDBText;
  DBText14: TDBText;
  DBText15: TDBText;
  DBText16: TDBText;
  DBText17: TDBText;
  DBText18: TDBText;
  DBText19: TDBText;
  Label7: TLabel;
  DBText20: TDBText;
  DBText21: TDBText;
  DBText22: TDBText;
  DBText23: TDBText;
  DBText24: TDBText;
  DBText25: TDBText;
  DBText26: TDBText;
  DBText27: TDBText;
  DBText28: TDBText;
  DBText29: TDBText;
  Label8: TLabel;
  DBText30: TDBText;
  DBText31: TDBText;
  DBText32: TDBText;
  DBText33: TDBText;
  DBText34: TDBText;
  DBText35: TDBText;
  DBText36: TDBText;
  DBText37: TDBText;
  DBText38: TDBText;
  DBText39: TDBText;
  Label9: TLabel;
  Label10: TLabel;
  Label11: TLabel;
  Label12: TLabel;
  Label13: TLabel;
  Label14: TLabel;
  Label15: TLabel;
  Label16: TLabel;
  DBText41: TDBText;
  DBText42: TDBText;
  Label17: TLabel;
  Label18: TLabel;

```

```

Label19: TLabel;
DBText40: TDBText;
Label20: TLabel;
DBText43: TDBText;
DBText44: TDBText;
DBText45: TDBText;
Label21: TLabel;
Panel1: TPanel;
Panel2: TPanel;
Panel3: TPanel;
BitBtn1: TBitBtn;
Panel4: TPanel;
DBText46: TDBText;
GroupBox1: TGroupBox;
Label27: TLabel;
Label31: TLabel;
Label32: TLabel;
Label29: TLabel;
Label26: TLabel;
Label33: TLabel;
Label28: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Label36: TLabel;
GroupBox2: TGroupBox;
Label22: TLabel;
Label56: TLabel;
Label57: TLabel;
Label24: TLabel;
Label23: TLabel;
Label25: TLabel;
Label58: TLabel;
Label59: TLabel;
Label30: TLabel;
DBText47: TDBText;
DBText48: TDBText;
DBText49: TDBText;
DBText50: TDBText;
DBText51: TDBText;
DBText52: TDBText;
DBText53: TDBText;
DBText54: TDBText;
DBText55: TDBText;
DBText56: TDBText;
DBText57: TDBText;
DBText58: TDBText;
DBText59: TDBText;
DBText60: TDBText;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Label44: TLabel;
Label45: TLabel;
Label46: TLabel;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Label49: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
DBText61: TDBText;
Label60: TLabel;
DBText62: TDBText;
Label61: TLabel;

```

```

DBText63: TDBText;
Label62: TLabel;
DBText64: TDBText;
Label63: TLabel;
DBText65: TDBText;
Label64: TLabel;
Label65: TLabel;
Label66: TLabel;
Label67: TLabel;
Label68: TLabel;
Label69: TLabel;
Label70: TLabel;
Label71: TLabel;
Label72: TLabel;
Label73: TLabel;
Label74: TLabel;
Label75: TLabel;
Label76: TLabel;
Label77: TLabel;
Label78: TLabel;
Label79: TLabel;
Label80: TLabel;
Label81: TLabel;
Label82: TLabel;
Label83: TLabel;
Label84: TLabel;
Label85: TLabel;
Label86: TLabel;
Label87: TLabel;
Label88: TLabel;
Label89: TLabel;
Label90: TLabel;

```

```

private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

```

```

var
frSEARCH: TfrSEARCH;

```

```

implementation

```

```

{$R *.DFM}
uses ModulWPS;
end.

```

UNIT MATERIAL DISPLAY

```

unit MaterialDisplay;

```

```

interface

```

```

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
  Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Mask, DBCtrls, ComCtrls;

```

```

type
  TfrMATERIAL = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    BitBtn1: TBitBtn;
    Panel2: TPanel;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Label11: TLabel;

```

```

Label8: TLabel;
Label16: TLabel;
Label6: TLabel;
Label15: TLabel;
Label9: TLabel;
Label14: TLabel;
Label7: TLabel;
Label13: TLabel;
DBEdit3: TDBEdit;
Edit1: TEdit;
DBEdit5: TDBEdit;
DBEdit9: TDBEdit;
DBEdit8: TDBEdit;
DBEdit7: TDBEdit;
DBEdit6: TDBEdit;
GroupBox1: TGroupBox;
Label5: TLabel;
Label10: TLabel;
Label12: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label21: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label43: TLabel;
Label44: TLabel;
Label45: TLabel;
Label46: TLabel;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Label49: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
DBEdit4: TDBEdit;
DBEdit10: TDBEdit;
DBEdit11: TDBEdit;
DBEdit12: TDBEdit;
DBEdit23: TDBEdit;
DBEdit24: TDBEdit;
DBEdit25: TDBEdit;
DBEdit26: TDBEdit;
DBEdit27: TDBEdit;
DBEdit28: TDBEdit;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  FrMATERIAL: TFrMATERIAL;

implementation
  Uses ModulWPS;
  {$R *.DFM}

procedure TFrMATERIAL.BitBtn1Click(Sender:
TObject);
begin
  Close;
end;

end.

UNIT REPORT

unit WPSRep;

```

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
ComCtrls, StdCtrls, Buttons, Grids, DBGrids, QrcCtrls,
QuickRpt, ExtCtrls;

type

```

TfrREPORT = class(TForm)
  WPSreport: TQuickRep;
  QRBand1: TQRBand;
  QRLabel1: TQRLabel;
  QRLabel2: TQRLabel;
  QRLabel3: TQRLabel;
  QRShape6: TQRShape;
  QRImage1: TQRImage;
  QRBand2: TQRBand;
  QRShape13: TQRShape;
  QRShape7: TQRShape;
  QRLabel32: TQRLabel;
  QRLabel4: TQRLabel;
  QRLabel5: TQRLabel;
  QRLabel6: TQRLabel;
  QRLabel8: TQRLabel;
  QRLabel9: TQRLabel;
  QRLabel10: TQRLabel;
  QRLabel11: TQRLabel;
  QRLabel12: TQRLabel;
  QRShape1: TQRShape;
  QRShape2: TQRShape;
  QRLabel7: TQRLabel;
  QRLabel13: TQRLabel;
  QRLabel14: TQRLabel;
  QRLabel15: TQRLabel;
  QRLabel16: TQRLabel;
  QRShape4: TQRShape;
  QRShape5: TQRShape;
  QRLabel17: TQRLabel;
  QRLabel18: TQRLabel;
  QRLabel19: TQRLabel;
  QRLabel20: TQRLabel;
  QRLabel21: TQRLabel;
  QRLabel23: TQRLabel;
  QRLabel22: TQRLabel;
  QRLabel25: TQRLabel;
  QRLabel24: TQRLabel;
  QRLabel26: TQRLabel;
  QRLabel27: TQRLabel;
  QRLabel28: TQRLabel;
  QRLabel29: TQRLabel;
  QRDBText10: TQRDBText;
  QRShape8: TQRShape;
  QRLabel30: TQRLabel;
  QRLabel31: TQRLabel;
  QRDBText15: TQRDBText;
  QRDBText23: TQRDBText;
  QRDBText24: TQRDBText;
  QRDBText25: TQRDBText;
  QRDBText26: TQRDBText;
  QRDBText27: TQRDBText;
  QRDBText29: TQRDBText;
  QRDBText30: TQRDBText;
  QRDBText33: TQRDBText;
  QRDBText34: TQRDBText;
  QRDBText36: TQRDBText;
  QRDBText37: TQRDBText;
  QRDBText40: TQRDBText;
  QRLabel33: TQRLabel;
  QRLabel34: TQRLabel;

```



```

QRLabel35: TQRLabel;
QRLabel36: TQRLabel;
QRShape26: TQRShape;
QRLabel42: TQRLabel;
QRLabel43: TQRLabel;
QRLabel44: TQRLabel;
QRLabel45: TQRLabel;
QRLabel46: TQRLabel;
QRLabel47: TQRLabel;
QRLabel48: TQRLabel;
QRLabel49: TQRLabel;
QRLabel50: TQRLabel;
QRShape17: TQRShape;
QRLabel52: TQRLabel;
QRLabel53: TQRLabel;
QRLabel54: TQRLabel;
QRLabel55: TQRLabel;
QRLabel56: TQRLabel;
QRLabel57: TQRLabel;
COMP: TQRLabel;
WELDPROCESS: TQRLabel;
SPQRNUM: TQRLabel;
WPSNUM: TQRLabel;
REVNUM: TQRLabel;
DESIGNER: TQRLabel;
AUTHOR: TQRLabel;
WELDTYPE: TQRLabel;
MATDESC: TQRLabel;
THIX: TQRLabel;
PRXI: TQRLabel;
QRLabel58: TQRLabel;
REVD: TQRLabel;
QRLabel59: TQRLabel;
APRD: TQRLabel;
TRMODE: TQRLabel;
VPROGRESS: TQRLabel;
QRLabel37: TQRLabel;
QRShape9: TQRShape;
QRShape10: TQRShape;
QRShape11: TQRShape;
QRShape12: TQRShape;
QRShape15: TQRShape;
QRShape16: TQRShape;
QRShape18: TQRShape;
QRShape19: TQRShape;
QRShape14: TQRShape;
QRShape20: TQRShape;
QRDBImage1: TQRDBImage;
QRDBText1: TQRDBText;
QRDBText2: TQRDBText;
QRDBText3: TQRDBText;
QRLabel39: TQRLabel;
QRDBText4: TQRDBText;
QRLabel40: TQRLabel;
QRDBText5: TQRDBText;
QRLabel41: TQRLabel;
QRDBText6: TQRDBText;
QRDBText7: TQRDBText;
QRDBText8: TQRDBText;
QRShape3: TQRShape;
QRShape21: TQRShape;
QRLabel60: TQRLabel;
QRLabel61: TQRLabel;
QRShape22: TQRShape;
QRDBText9: TQRDBText;
QRDBText11: TQRDBText;
QRDBText12: TQRDBText;
QRDBText13: TQRDBText;
QRDBText14: TQRDBText;
QRDBText16: TQRDBText;
QRDBText17: TQRDBText;

```

```

QRDBText18: TQRDBText;
QRDBText19: TQRDBText;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public

```

```
end;
```

```

var
frREPORT: TfrREPORT;

```

```

implementation
{$R *.DFM}
uses input,MODULWPS;

```

```

procedure TfrREPORT.FormCreate(Sender: TObject);
begin
COMP.Caption:=frINPUT.CONAME.Text;
SPQRNUM.Caption:=frINPUT.SPQRN.Text;
WPSNUM.Caption:=frINPUT.IDENT.Text;
REVNUM.Caption:=frINPUT.REVNUM.Text;

```

```

REVD.Caption:=DATETOSTR(frINPUT.DATEDES.d
ate);
DESIGNER.Caption:=frINPUT.DESIGNER.Text;

```

```

APRD.Caption:=DATETOSTR(frINPUT.DATEAPP.D
ATE);

```

```

AUTHOR.Caption:=frINPUT.APPROVAL.Text;
if QRDBText2.Caption='VERTICAL UP' then
VPROGRESS.Caption:= 'UP'
else if QRDBText2.Caption='VERTICAL DOWN'
then
VPROGRESS.Caption:='DOWN'
else VPROGRESS.Caption:='NONE';
end;
end.

```

UNIT EDIT REPORT

```
unit Edit_Output;
```

```
interface
```

```

uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
DBCtrls, Mask, ExtCtrls, DBCGrids, StdCtrls, Buttons,
ComCtrls, jpeg;

```

```

type
TfrEdit_WPS = class(TForm)
PageControl1: TPageControl;
TabSheet2: TTabSheet;
Bevel7: TBevel;
Panel1: TPanel;
BitBtn4: TBitBtn;
BitBtn6: TBitBtn;
BitBtn3: TBitBtn;
Panel2: TPanel;
Label18: TLabel;
Label21: TLabel;
Label20: TLabel;
Label19: TLabel;
Label23: TLabel;
Label22: TLabel;
Label11: TLabel;
Label24: TLabel;
Label2: TLabel;

```

```

Label3: TLabel;
Label25: TLabel;
WXP: TEdit;
JXT: TEdit;
WXS: TEdit;
WXT: TEdit;
PXN: TEdit;
MXN: TEdit;
TXB: TEdit;
TabSheet1: TTabSheet;
DBImage1: TDBImage;
Panel3: TPanel;
Label5: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Label32: TLabel;
Label35: TLabel;
Label33: TLabel;
Label38: TLabel;
Label31: TLabel;
Label34: TLabel;
Label4: TLabel;
Label7: TLabel;
Label6: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Image1: TImage;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Edit21: TEdit;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
Edit24: TEdit;
Edit26: TEdit;
Edit27: TEdit;
Edit28: TEdit;
Edit29: TEdit;
Edit30: TEdit;
Edit31: TEdit;
Edit32: TEdit;
Edit33: TEdit;
Edit35: TEdit;
Edit36: TEdit;
Edit37: TEdit;
Edit25: TEdit;
Edit38: TEdit;
Edit39: TEdit;
Edit40: TEdit;
Edit41: TEdit;
Edit34: TEdit;
BitBtn2: TBitBtn;
Label10: TLabel;

```

```

Edit42: TEdit;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn6Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);

```

```

private
{ Private declarations }
fmaterial, fFILLER, FILTERFILLER: string;
fc1, fc2, gm, sa1, sa2, sma1, sma2: string;

```

```

public
{ Public declarations }
end;

```

```

var
frEdit_WPS: TfrEdit_WPS;

```

```

implementation

```

```

{$R *.DFM}
Uses
ModulWPS, MaterialDisplay, Consumat, WPSRep, CariOut,
WPSRep_EDIT;

```

```

procedure TfrEdit_WPS.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
frMATERIAL:=TfrMATERIAL.Create(Self);
dmWPS.QRMATERIAL.Close;
fmaterial:='MATERIAL_DESC='+MXN.Text+'';
dmWPS.QRMATERIAL.Filtered:=true;
dmWPS.QRMATERIAL.Filter:=fmaterial;
dmWPS.QRMATERIAL.Open;
frMATERIAL.Edit1.Text:=TXB.Text;
frMATERIAL.ShowModal;
frMATERIAL.Free;
end;

```

```

procedure TfrEdit_WPS.BitBtn6Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

```

```

procedure TfrEdit_WPS.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
frSEARCH:=TfrSEARCH.Create(Self);
fFILLER:='MATERIAL_DESC='+MXN.Text+'';
dmWPS.QRFILLER.Close;
dmWPS.QRFILLER.Filtered:=true;
dmWPS.QRFILLER.Filter:=fFILLER;
dmWPS.QRFILLER.Open;
fc1:=dmWPS.QRFILLERFCAW1.Value;
fc2:=dmWPS.QRFILLERFCAW2.Value;
gm:=dmWPS.QRFILLERGMAW.Value;
sa1:=dmWPS.QRFILLERSAW1.Value;
sa2:=dmWPS.QRFILLERSAW2.Value;
sma1:=dmWPS.QRFILLERSMAW1.Value;
sma2:=dmWPS.QRFILLERSMAW2.Value;
if (WXP.Text='SMAW') then
FILTERFILLER:='((SPEC='+sma1+''+')OR(SPEC
='+
''+sma2+''+'))'
else if (WXP.Text='FCAW') then

```



```

FILTERFILLER:='((SPEC='+''+fc1+''+')OR(SPEC='+
+
''+fc2+''+'))';
else if(WXP.Text='GMAW') then
    FILTERFILLER:='SPEC='+''+gm+''
else

FILTERFILLER:='((SPEC='+''+sa1+''+')OR(SPEC='+
+
''+sa2+''+'))';
dmWPS.QRCONSUM.Close;
dmWPS.QRCONSUM.Filtered:=True;
dmWPS.QRCONSUM.Filter:=FILTERFILLER;
dmWPS.QRCONSUM.Open;

dmWPS.QRMATERIAL.Close;
fmaterial:='MATERIAL_DESC='+''+MXN.Text+'';
dmWPS.QRMATERIAL.Filtered:=true;
dmWPS.QRMATERIAL.Filter:=fmaterial;
dmWPS.QRMATERIAL.Open;

frSEARCH.ShowModal;
frSEARCH.Free;

end;

procedure TfrEdit_WPS.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
    frREPORT_EDIT:=TfrREPORT_EDIT.Create(Self);

    with frREPORT_EDIT do
    begin
        JOINTCODE.Caption:=JXT.Text;
        WELDFACE.Caption:=WXS.Text;
        RO_OP.Caption:=Edit40.Text;
        RO_FA.Caption:=Edit39.Text;
        ANGLE.Caption:=Edit41.Text;
        MATDESC.Caption:=MXN.Text;
        THIX.Caption:=TXB.Text;
        ECLASS.Caption:=Edit2.Text;
        SHIELDING.Caption:=Edit10.Text;
        GASFLOW.Caption:=Edit11.Text;
        GASCUP.Caption:=Edit12.Text;
        PREHEAT.Caption:=Edit34.Text;
        INTERPASS.Caption:=Edit34.Text;
        POSITION.Caption:=PXN.Text;
        TRMODE.Caption:=Edit38.Text;
        PASS1.Caption:=Edit1.Text;
        PASS2.Caption:=Edit13.Text;
        PASS3.Caption:=Edit25.Text;
        PRX1.Caption:=WXP.Text;
        ECLASS1.Caption:=Edit2.Text;
        ECLASS2.Caption:=Edit14.Text;
        ECLASS3.Caption:=Edit26.Text;
        DIAM1.Caption:=Edit3.Text;
        DIAM2.Caption:=Edit15.Text;
        DIAM3.Caption:=Edit27.Text;
        curtcaption:=Edit4.Text;
        pol.Caption:=Edit5.Text;
        AMPERE1.Caption:=Edit6.Text;
        AMPERE2.Caption:=Edit18.Text;
        AMPERE3.Caption:=Edit30.Text;
        CURTYPE.Caption:=Edit4.Text;
        POLARITY.Caption:=Edit5.Text;
        POSTWELD.Caption:=Edit42.Text;
        dmWPS.QRSPEC.Close;
        dmWPS.QRSPEC.Filtered:=true;
    end;
end;

```

```

dmWPS.QRSPEC.Filter:='MATDESC='+''+MXN.Text
+'';
dmWPS.QRSPEC.Open;

end;
frREPORT_EDIT.WPSReport.Preview;
frREPORT_EDIT.Free;
end;

```

```

procedure TfrEdit_WPS.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    { top:=86;
    Left:=1; }
end;

end.

```

UNIT WPSREPORT_EDIT

```
unit WPSRep_EDIT;
```

```
interface
```

```
uses
```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
    Controls, Forms, Dialogs,
    ComCtrls, StdCtrls, Buttons, Grids, DBGrids, QcCtrls,
    QuickRpt, ExtCtrls;

```

```
type
```

```

TfrREPORT_EDIT = class(TForm)
    WPSReport: TQuickRep;
    QRBand1: TQRBand;
    QRLabel1: TQRLabel;
    QRLabel2: TQRLabel;
    QRLabel3: TQRLabel;
    QRShape6: TQRShape;
    QRImage1: TQRImage;
    QRBand2: TQRBand;
    QRShape13: TQRShape;
    QRShape7: TQRShape;
    QRLabel32: TQRLabel;
    QRLabel4: TQRLabel;
    QRLabel5: TQRLabel;
    QRLabel6: TQRLabel;
    QRLabel8: TQRLabel;
    QRLabel9: TQRLabel;
    QRLabel10: TQRLabel;
    QRLabel11: TQRLabel;
    QRLabel12: TQRLabel;
    QRShape1: TQRShape;
    QRShape2: TQRShape;
    QRLabel7: TQRLabel;
    QRLabel13: TQRLabel;
    QRLabel14: TQRLabel;
    QRLabel15: TQRLabel;
    QRLabel16: TQRLabel;
    QRShape4: TQRShape;
    QRShape5: TQRShape;
    QRLabel17: TQRLabel;
    QRLabel18: TQRLabel;
    QRLabel19: TQRLabel;
    QRLabel20: TQRLabel;
    QRLabel21: TQRLabel;
    QRLabel23: TQRLabel;
    QRLabel22: TQRLabel;
    QRLabel25: TQRLabel;
    QRLabel24: TQRLabel;
end;

```



```

QRLabel26: TQRLabel;
QRLabel27: TQRLabel;
QRLabel28: TQRLabel;
QRLabel29: TQRLabel;
QRShape8: TQRShape;
QRLabel30: TQRLabel;
QRLabel31: TQRLabel;
QRLabel33: TQRLabel;
QRLabel34: TQRLabel;
QRLabel35: TQRLabel;
QRLabel36: TQRLabel;
QRShape26: TQRShape;
QRLabel42: TQRLabel;
QRLabel43: TQRLabel;
QRLabel44: TQRLabel;
QRLabel45: TQRLabel;
QRLabel46: TQRLabel;
QRLabel47: TQRLabel;
QRLabel48: TQRLabel;
QRLabel49: TQRLabel;
QRLabel50: TQRLabel;
QRShape17: TQRShape;
QRLabel52: TQRLabel;
QRLabel53: TQRLabel;
QRLabel54: TQRLabel;
QRLabel55: TQRLabel;
QRLabel56: TQRLabel;
QRLabel57: TQRLabel;
COMP: TQRLabel;
WELDPROCESS: TQRLabel;
SPQRNUM: TQRLabel;
WPSNUM: TQRLabel;
REVNUM: TQRLabel;
DESIGNER: TQRLabel;
AUTHOR: TQRLabel;
WELDTYPE: TQRLabel;
MATDESC: TQRLabel;
THIX: TQRLabel;
PRXI: TQRLabel;
QRLabel58: TQRLabel;
REVD: TQRLabel;
QRLabel59: TQRLabel;
APRD: TQRLabel;
TRMODE: TQRLabel;
VPROGRESS: TQRLabel;
QRLabel37: TQRLabel;
QRShape9: TQRShape;
QRShape10: TQRShape;
QRShape11: TQRShape;
QRShape12: TQRShape;
QRShape15: TQRShape;
QRShape16: TQRShape;
QRShape18: TQRShape;
QRShape19: TQRShape;
QRShape14: TQRShape;
QRShape20: TQRShape;
QRDBImage1: TQRDBImage;
QRLabel39: TQRLabel;
QRLabel40: TQRLabel;
QRLabel41: TQRLabel;
QRShape3: TQRShape;
QRShape21: TQRShape;
QRLabel60: TQRLabel;
QRLabel61: TQRLabel;
QRShape22: TQRShape;
QRDBText19: TQRDBText;
RO_1A: TQRLabel;
RO_O1: TQRLabel;
BACKING: TQRLabel;
WELDFACE: TQRLabel;
JOINTCODE: TQRLabel;

```

```

ANGLE: TQRLabel;
ECLASS: TQRLabel;
SHIELDING: TQRLabel;
GASFLOW: TQRLabel;
GASCUP: TQRLabel;
PREHEAT: TQRLabel;
INTERPASS: TQRLabel;
POSITION: TQRLabel;
CURTYPE: TQRLabel;
POLARITY: TQRLabel;
POSTWELD: TQRLabel;
PASS1: TQRLabel;
PASS2: TQRLabel;
PASS3: TQRLabel;
ECLASS2: TQRLabel;
ECLASS3: TQRLabel;
ECLASS1: TQRLabel;
DIAM1: TQRLabel;
DIAM2: TQRLabel;
DIAM3: TQRLabel;
CURT: TQRLabel;
POL: TQRLabel;
AMPERE1: TQRLabel;
AMPERE2: TQRLabel;
AMPERE3: TQRLabel;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public

end;

var
frREPORT_EDIT: TfrREPORT_EDIT;

implementation
{$R *.DFM}
uses input,MODULWPS;

procedure TfrREPORT_EDIT.FormCreate(Sender:
TObject);
begin
COMP.Caption:=frINPUT.CONAME.Text;
SPQRNUM.Caption:=frINPUT.SPQRN.Text;
WPSNUM.Caption:=frINPUT.IDENT.Text;
REVNUM.Caption:=frINPUT.REVNUM.Text;

REVD.Caption:=DATETOSTR(frINPUT.DATEDES.d
ate);
DESIGNER.Caption:=frINPUT.DESIGNER.Text;

APRD.Caption:=DATETOSTR(frINPUT.DATEAPP.D
ATE);
AUTHOR.Caption:=frINPUT.APPROVAL.Text;
MATDESC.Caption:=frINPUT.MATENAME.Text;

if POSITION.Caption='VERTICAL UP' then
VPROGRESS.Caption:= 'UP'
else if POSITION.Caption='VERTICAL DOWN' then
VPROGRESS.Caption:='DOWN'
else VPROGRESS.Caption:='NONE';
end;
end.

```

UNIT ABOUT

unit About;

interface

uses Windows, Classes, Graphics, Forms, Controls,
StdCtrls,

Buttons, ExtCtrls, jpeg;

```
type
  TAboutBox = class(TForm)
    Panel2: TPanel;
    BitBtn1: TBitBtn;
    Panel1: TPanel;
    Copyright: TLabel;
    Comments: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Bevel2: TBevel;
    Image1: TImage;
    ProductName: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
```

```
var
  AboutBox: TAboutBox;
```

implementation

```
{ $R *.DFM }
```

end.

UNIT EDIT DETAIL

unit detailedit;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics,
Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, DBCtrls, ExtCtrls, ExtDlgs, Mask,
ComCtrls;

type

```
TfrDETAIL = class(TForm)
  OpenPictureDialog1: TOpenPictureDialog;
  Panel1: TPanel;
  GroupBox1: TGroupBox;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Label5: TLabel;
  Label9: TLabel;
  Label10: TLabel;
  Label11: TLabel;
  DBLookupComboBox1: TDBLookupComboBox;
  DBLookupComboBox2: TDBLookupComboBox;
  DBEdit1: TDBEdit;
  DBEdit2: TDBEdit;
  DBLookupComboBox3: TDBLookupComboBox;
  DBEdit3: TDBEdit;
  DBEdit4: TDBEdit;
  DBEdit5: TDBEdit;
  DBRadioGroup4: TDBRadioGroup;
  DBRadioGroup1: TDBRadioGroup;
  DBCheckBox1: TDBCheckBox;
```

```
DBRadioGroup3: TDBRadioGroup;
DBRadioGroup2: TDBRadioGroup;
Shape1: TShape;
Bevel5: TBevel;
DBImage1: TDBImage;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn2: TBitBtn;
Bevel42: TBevel;
Bevel39: TBevel;
DBNavigator1: TDBNavigator;
BitBtn3: TBitBtn;
Bevel14: TBevel;
Label34: TLabel;
Label38: TLabel;
Label33: TLabel;
Label35: TLabel;
Label32: TLabel;
Label29: TLabel;
Label28: TLabel;
Label6: TLabel;
DBEdit6: TDBEdit;
DBEdit7: TDBEdit;
DBEdit8: TDBEdit;
DBEdit9: TDBEdit;
DBEdit10: TDBEdit;
DBEdit11: TDBEdit;
DBEdit12: TDBEdit;
DBEdit14: TDBEdit;
DBEdit15: TDBEdit;
DBEdit33: TDBEdit;
DBEdit23: TDBEdit;
DBEdit22: TDBEdit;
DBEdit21: TDBEdit;
DBEdit20: TDBEdit;
DBEdit19: TDBEdit;
DBEdit18: TDBEdit;
DBEdit17: TDBEdit;
DBEdit16: TDBEdit;
DBEdit13: TDBEdit;
DBEdit24: TDBEdit;
DBEdit25: TDBEdit;
DBEdit26: TDBEdit;
DBEdit27: TDBEdit;
DBEdit28: TDBEdit;
DBEdit29: TDBEdit;
DBEdit30: TDBEdit;
DBEdit31: TDBEdit;
DBEdit32: TDBEdit;
Label12: TLabel;
Label8: TLabel;
Label7: TLabel;
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
```

```
var
  frDETAIL: TfrDETAIL;
```

implementation

```
{ $R *.DFM }
Uses ModulWPS;
```

```

procedure TfrDETAIL.BitBtn2Click(Sender: TObject);
var
  fname:String;
begin
  if (OpenPictureDialog1.Execute) then
    fname:=OpenPictureDialog1.FileName;
    DBImage1.Picture.LoadFromFile(fname);
  end;

procedure TfrDETAIL.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  if
    (WinExec('PBRUSH.EXE',SW_SHOWNORMAL)<32) then
    MessageDlg('Unable to Load Paint
    Brush',mtError,[mbOK],0);
  end;
procedure TfrDETAIL.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

procedure TfrDETAIL.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  top:=86;
  left:=1;
  dmWPS.taDETAIL.Open;
end;

end;

```

UNIT CONSUMABLE MATERIAL

```

unit ConsumMaterial;

interface

uses
  SysUtils, Windows, Messages, Classes, Graphics,
  Controls,
  StdCtrls, Forms, DBCtrls, DB, Buttons, ExtCtrls, Mask;

type
  TfrCONSUMEDIT = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    DBNavigator: TDBNavigator;
    BitBtn1: TBitBtn;
    Panel2: TPanel;
    Label16: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label26: TLabel;
    Label37: TLabel;
    EditDIAM: TDBEdit;
    EditDIAM2: TDBEdit;
    EditDIAM3: TDBEdit;
    EditDIAM4: TDBEdit;
    EditDIAM5: TDBEdit;
    EditDIAM6: TDBEdit;
    EditDIAM7: TDBEdit;
    EditDIAM8: TDBEdit;
    EditDIAM9: TDBEdit;
    EditDIAM10: TDBEdit;
    EditDIAM11: TDBEdit;
    EditCURRENT: TDBEdit;
    EditCURRENT2: TDBEdit;
    EditCURRENT3: TDBEdit;

```

```

    EditCURRENT4: TDBEdit;
    EditCURRENT5: TDBEdit;
    EditCURRENT6: TDBEdit;
    EditCURRENT7: TDBEdit;
    EditCURRENT8: TDBEdit;
    EditCURRENT9: TDBEdit;
    EditCURRENT10: TDBEdit;
    EditCURRENT11: TDBEdit;
    EditVOLTAGE: TDBEdit;
    EditVOLTAGE2: TDBEdit;
    EditVOLTAGE3: TDBEdit;
    EditVOLTAGE4: TDBEdit;
    EditVOLTAGE5: TDBEdit;
    EditVOLTAGE6: TDBEdit;
    EditVOLTAGE7: TDBEdit;
    EditVOLTAGE8: TDBEdit;
    EditVOLTAGE9: TDBEdit;
    EditVOLTAGE10: TDBEdit;
    EditVOLTAGE11: TDBEdit;
    EditDESCR: TDBEdit;
    GroupBox1: TGroupBox;
    Label6: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Mpa: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    EditYIELD: TDBEdit;
    EditTENSILE: TDBEdit;
    EditELONG: TDBEdit;
    EditPOLARITY: TDBEdit;
    EditPOLARITY2: TDBEdit;
    GroupBox2: TGroupBox;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Label22: TLabel;
    Label24: TLabel;
    Label25: TLabel;
    Label27: TLabel;
    DBEdit1: TDBEdit;
    DBEdit2: TDBEdit;
    DBEdit3: TDBEdit;
    DBEdit4: TDBEdit;
    DBEdit5: TDBEdit;
    DBEdit6: TDBEdit;
    DBEdit7: TDBEdit;
    DBEdit8: TDBEdit;
    DBEdit9: TDBEdit;
    Label21: TLabel;
    Label23: TLabel;
    Label29: TLabel;
    Label30: TLabel;
    Label31: TLabel;
    Label32: TLabel;
    Label33: TLabel;
    Label28: TLabel;
    Label34: TLabel;
    Label36: TLabel;
    Label38: TLabel;
    Label39: TLabel;
    Label40: TLabel;
    Label41: TLabel;
    Label42: TLabel;
    Label43: TLabel;
    Label44: TLabel;

```



```

Label45: TLabel;
Label35: TLabel;
Label1: TLabel;
EditPRODNAME: TDBEdit;
Label2: TLabel;
EditMANUFACTURER: TDBEdit;
Label3: TLabel;
EditTYPE: TDBEdit;
Label4: TLabel;
EditSPEC: TDBEdit;
Label5: TLabel;
EditCLASS: TDBEdit;
Label46: TLabel;
procedure FormCreate(Sender: TObject);
{ private declarations }
public
{ public declarations }
end;

var
  frCONSUMEDIT: TfrCONSUMEDIT;

implementation

{$R *.DFM}
uses ModulWPS;

procedure TfrCONSUMEDIT.FormCreate(Sender:
TObject);
begin
  top:=86;
  Left:=2;
  dmWPS.taCONSUMABLE.Open;
end;

end.

```

Table 3.1
Prequalified Base Metal—Filler Metal Combinations for Matching Strength⁸ (see 3.3)

Group	Steel Specification Requirements					Filler Metal Requirements				
	Steel Specification ^{1,2}	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Electrode Specification ^{3,4}	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Strength Range	
		ksi	MPa	ksi	MPa		ksi	MPa	ksi	MPa
	ASTM A36 ⁴	36	250	58-80	400-550					
	ASTM A53 Grade B	35	240	60 min	415 min	SMAW				
	ASTM A106 Grade B	35	240	60 min	415 min	AWS A5.1				
	ASTM A131 Grades A, B, CS, D, DS, E ⁵	34	235	58-71	400-490	E60XX	48	331	60 min	414 min
	ASTM A139 Grade B	35	241	60 min	414 min	E70XX	53-72	365-496	70 min	482 min
	ASTM A381 Grade Y35	35	240	60 min	415 min	AWS A5.5 ⁷				
	ASTM A500 Grade A	33	228	45 min	310 min	E70XX-X	57-60	390-415	70-75 min	430-520 min
	ASTM A500 Grade B	42	290	58 min	400 min	SAW				
	ASTM A501	36	250	58 min	400 min	AWS A5.17				
	ASTM A516 Grade 55	30	205	55-75	380-515	F6XX-EXXX	48	330	60-80	415-550
	ASTM A516 Grade 60	32	220	60-80	415-550	F7XX-EXXX	58	400	70-95	480-650
	ASTM A524 Grade I	35	240	60-85	415-586	AWS A5.23 ⁷				
	ASTM A524 Grade II	30	205	55-80	380-550	F7XX-EXX-XX	58	400	70-95	480-660
	ASTM A529	42	290	60-85	415-585					
	ASTM A570 Grade 30	30	205	49 min	340 min	GMAW				
	ASTM A570 Grade 33	33	230	52 min	360 min	AWS A5.18				
	ASTM A570 Grade 36	36	250	53 min	365 min	ER70S-X	58	400	70 min	480 min
	ASTM A570 Grade 40	40	275	55 min	380 min					
	ASTM A570 Grade 45	45	310	60 min	415 min					
	ASTM A570 Grade 50	50	345	65 min	450 min					
	ASTM A573 Grade 65	35	240	55-77	450-530	FCAW				
	ASTM A573 Grade 58	32	220	58-71	400-490	AWS A5.20				
	ASTM A709 Grade 36 ⁴	36	250	58-80	400-550	E6XT-X	48	330	60 min	415 min
	API 5L Grade B	35	240	60	415	E7XT-X	58	400	70 min	480 min
	API 5L Grade X42	42	290	60	415	(Except -2, -3, -10, -13, -14, -GS)				
	ABS Grades A, B, D, CS, DS			58-71	400-490	AWS A5.29 ⁷				
	ABS Grade E ⁵			58-71	400-490	E7XTX-XX	58	400	70-90	490-620

(continued)

Table 3.1 (Continued)

Group	Steel Specification Requirements					Filler Metal Requirements				
	Steel Specification ^{1,2}	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Electrode Specification ^{3,4}	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Strength Range	
		ksi	MPa	ksi	MPa		ksi	MPa	ksi	MPa
C r o u p	ASTM A131	Grades AH32, DH32, EH32	46	315	68-85	470-585	SMAW			
		Grades AH36, DH36, EH36	51	350	71-90	490-620	AWS A5.1			
	ASTM A441		40-50	275-345	60-70	415-485	E7015, E7016	58	399	70 min 482 min
	ASTM A516	Grade 65	35	240	65-85	450-585	E7018, E7028			
		Grade 70	38	260	70-90	485-620	AWS A5.5 ⁷			
	ASTM A537	Class 1	45-50	310-345	65-90	450-620	E7015-X, E7016-X	57-60	390-415	70-75 min 430-520 min
	ASTM A572	Grade 42	42	290	60 min	415 min	E7018-X			
	ASTM A572	Grade 50	50	345	65 min	450 min	SAW			
	ASTM A588 ⁵	(4 in. and under)	50	345	70 min	485 min	AWS A5.17			
	ASTM A595	Grade A	55	380	65 min	450 min	F7XX-EXXX	58	400	70-95 480-650
		Grades B and C	60	415	70 min	480 min	AWS A5.23 ⁷			
	ASTM A606 ⁵		45-50	310-340	65 min	450 min	F7XX-EXX-XX	58	400	70-95 480-660
	ASTM A607	Grade 45	45	310	60 min	410 min	GMAW			
		Grade 50	50	345	65 min	450 min	AWS A5.18			
		Grade 55	55	380	70 min	480 min	ER70S-X	58	400	70 min 480 min
	ASTM A618	Grades 1b, II, III	46-50	315-345	65 min	450 min	FCAW			
	ASTM A633	Grade A	42	290	63-83	430-570				
		Grades C, D	50	345	70-90	485-620				
		(2-1/2 in. and under)								
	ASTM A709	Grade 50	50	345	65 min	450 min		58	400	70 min 480 min
		Grade 50W	50	345	70 min	485 min				
	ASTM A710	Grade A, Class 2 > 2 in.	55	380	65 min	450 min				
	ASTM A808	(2-1/2 in. and under)	42	290	60 min	415 min		58	400	70-90 490-620
	ASTM A913	Grade 50	50	345	65 min	450 min				
	API 2H ⁶	Grade 42	42	290	62-80	430-550				
		Grade 50	50	345	70 min	485 min				
	API 2W	Grade 42	42-67	290-462	62 min	427 min				
		Grade 50	50-75	345-517	65 min	448 min				
		Grade 50T	50-80	345-552	70 min	483 min				
	API 2Y	Grade 42	42-67	290-462	62 min	427 min				
		Grade 50	50-75	345-517	65 min	448 min				
		Grade 50T	50-80	345-552	70 min	483 min				
	API 5L	Grade X52	52	360	66-72	455-495				
	ABS	Grades AH32, DH32, EH32	45.5	315	71-90	490-620				
		Grades AH36, DH36, EH36 ³	51	350	71-90	490-620				

(continued)

Table 3.1 (Continued)

Group	Steel Specification Requirements						Filler Metal Requirements					
	Steel Specification ^{1,2}		Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Electrode Specification ^{3,6}	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Strength Range		
			ksi	MPa	ksi	MPa		ksi	MPa	ksi	MPa	
III	API 2W	Grade 60	60-90	414-621	75 min	517 min	SMAW AWS A5.5 ⁷					
	API 2Y	Grade 60	60-90	414-621	75 min	517 min	E3015-X, E8016-X	67-80	460-550	80 min	550 min	
	ASTM A572	Grade 60	60	415	75 min	515 min	E3018-X					
		Grade 65	65	450	80 min	550 min	SAW					
	ASTM A537	Class 2 ⁵	46-60	315-415	80-100	550-690	AWS A5.23 ⁷					
	ASTM A633	Grade E ⁵	55-60	380-415	75-100	515-690	F8XX-EXX-XX	68	470	80-100	550-690	
	ASTM A710	Grade A, Class 2 ≤ 2 in.	60-65	415-450	72 min	495 min	GMAW					
	ASTM A710	Grade A, Class 3 > 2 in.	60-65	415-450	70 min	485 min	AWS A5.28 ⁷					
	ASTM A913 ⁹	Grade 60	60	415	75 min	520 min	ER80S-X	68	470	80 min	550 min	
		Grade 65	65	450	80 min	550 min	FCAW AWS A5.29 ⁷					
						E8XTX-X	68	470	80-100	550-690		

Notes:

- In joints involving base metals of different groups, either of the following filler metals may be used: (1) that which matches the higher strength base metal, or (2) that which matches the lower strength base metal and produces a low-hydrogen deposit. Preheating shall be in conformance with the requirements applicable to the higher strength group.
- Match API standard 2B (fabricated tubes) according to steel used.
- When welds are to be stress-relieved, the deposited weld metal shall not exceed 0.05 percent vanadium.
- Only low-hydrogen electrodes shall be used when welding A36 or A709 Grade 36 steel more than 1 in. (25.4 mm) thick for cyclically loaded structures.
- Special welding materials and WPS (e.g., E80XX-X low-alloy electrodes) may be required to match the notch toughness of base metal (for applications involving impact loading or low temperature), or for atmospheric corrosion and weathering characteristics (see 3.7.3).
- The designation of ER70S-1B has been reclassified as ER80S-D2 in A5.28-79. Prequalified WPSs prepared prior to 1981 and specifying AWS A5.18, ER70S-1B, may now use AWS A5.28-79 ER80S-D2 when welding steels in Groups I and II.
- Filler metals of alloy group B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, or B9 in AWS/AWS A5.5, A5.23, A5.28, or A5.29 are not prequalified for use in the as-welded condition.
- See Tables 2.3 and 2.5 for allowable stress requirements for matching filler metal.
- The heat input limitations of 5.7 shall not apply to ASTM A913 Grade 60 or 65.

C a t e g o r y	Steel Specification				Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding ¹		Minimum Preheat and Interpass Temperature ²	
						in.	mm	*F	*C
A	ASTM A36		ASTM A516			1/8 to 3/4 incl	3 to 19 incl.	None ¹	
	ASTM A53	Grade B	ASTM A524	Grades I & II					
	ASTM A106	Grade B	ASTM A529			Over 3/4	Over 19		
	ASTM A131	Grades A, B, CS, D, DS, E	ASTM A570	All grades	Shielded metal arc welding with other than low-hydrogen electrodes	thru 1-1/2 incl.	thru 38.1 incl.	150	66
	ASTM A139	Grade B	ASTM A573	Grade 65		Over 1-1/2	Over 38.1		
	ASTM A381	Grade Y35	API 5L	Grade B		thru 2-1/2 incl	thru 63.5 incl	225	107
	ASTM A500	Grade A		Grade X42					
		Grade B	ABS	Grades A, B, D, CS, DS					
	ASTM A501			Grade E		Over 2-1/2	Over 63.5	300	150
	ASTM A36		ASTM A570	All grades					
	ASTM A53	Grade B	ASTM A572	Grades 42, 50					
	ASTM A106	Grade B	ASTM A573	Grade 65					
B	ASTM A131	Grades A, B, CS, D, DS, E AH 32 & 36 EH 32 & 36 EH 32 & 36	ASTM A583			1/8 to 3/4 incl	3 to 19 incl.	None ¹	
			ASTM A595	Grades A, B, C					
			ASTM A606						
			ASTM A607	Grades 45, 50, 55					
			ASTM A618	Grades 15, 11, 111					
	ASTM A139	Grade B	ASTM A633	Grades A, B Grades C, D	Shielded metal arc welding with low- hydrogen electrodes, submerged arc welding, ² gas metal arc welding, flux cored arc welding	Over 3/4	Over 19 thru 38.1 incl	50	10
	ASTM A381	Grade Y35	ASTM A709	Grades 36, 50, 50W		thru 1-1/2 incl.			
			ASTM A710	Grade A, Class 2 (> 2 in)					
			ASTM A808						
			ASTM A913	Grade 50					
	ASTM A441		API 5L	Grade B					
	ASTM A500	Grade A		Grade X42					
		Grade B	API Spec. 2H	Grades 42, 50		Over 1-1/2	Over 38.1 thru		
			API 2W	Grades 42, 50, 50T					
			API 2Y	Grades 42, 50, 50T					
	ASTM A501		ABS	Grades AH 32 & 36		thru 2-1/2 incl.	63.5 incl.	150	66
	ASTM A516	Grades 55 & 60 65 & 70		DH 32 & 36 EH 32 & 36					
	ASTM A524	Grades I & II	ABS	Grades A, B, D, CS, DS		Over 2-1/2	Over 63.5	225	107
	ASTM A529								

PROCEDURES FOR GAS METAL-ARC WELDING CARBON-STEEL BUTTS BY SPRAY TRANSFER

Gas — Argon with 5% O₂
Gas Flow 40-50 cfh

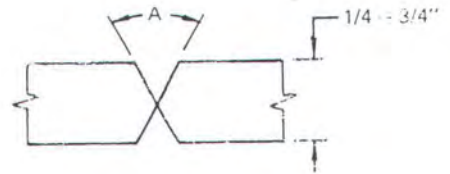
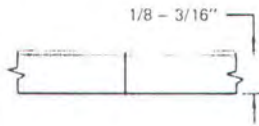


Plate Thickness (in.)	1/8	3/16	1/4		5/16		1/2		3/4
Electrode Size	1/16	1/16	3/32		3/32		3/32		3/32
Pass	1	2	1	2	1	2	1	2	1 - 4
Current DCRP	280	375	375	430	400	420	400	450	450
Wire Speed (ipm)	165	260	83	95	87	92	87	100	100
Voltage	24	26	27		28		28		29
Arc Speed (ipm)	20	24	24		20		14		12
Total Time (hr/ft of weld)	0.0100	0.0167	0.0167		0.0200		0.0286		0.0667
Angle A (degrees)			60		60		60		90

PROCEDURES FOR GAS METAL-ARC WELDING CARBON-STEEL BUTTS BY SHORT-CIRCUITING TRANSFER

Gas — Argon with
25% CO₂
Gas Flow 10-15 cfh
Electrode Size 0.030 in.

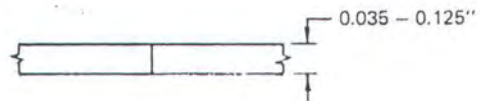
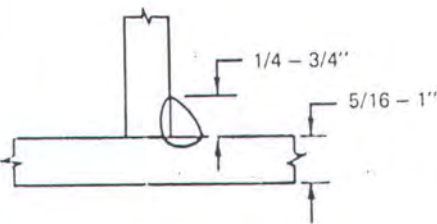
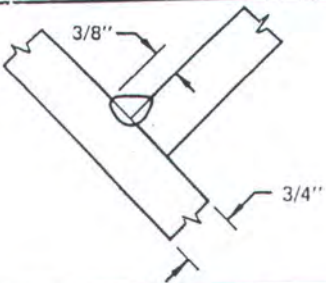


Plate Thickness (in.)	0.035	0.047	0.063	0.078	0.100	0.125
Current DCRP	55	65	85	105	110	130
Wire Speed (ipm)	117	140	170	225	235	300
Voltage	16	17	17	18	18	19
Arc Speed (ipm)	13	15	15	15	15	16
Total Time (hr/ft of weld)	0.0154	0.0133	0.0133	0.0133	0.0133	0.0125

PROCEDURES FOR GAS METAL-ARC WELDING OF CARBON-STEEL FILLETS BY SPRAY TRANSFER

Gas — Argon with 5% O ₂ Gas Flow 40 — 50 cfh Electrode Size 3/32 in.				
Weld Size, (in.)	1/4	5/16	3/4	3/8
Plate Thickness, (in.)	5/16	1/2	1	3/4
Pass	1	1	4	1
Current (DCRP)	400	450	450	475
Wire Feed Speed (ipm)	87	100	100	110
Voltage	27	28	28	30
Arc Speed (ipm)	16	12	7	9
Total Time (hr/ft of weld)	0.0125	0.0167	0.114	0.0222

Material Thickness in. (1) mm	Type of Weld	Number of Passes	Electrode Dia. in. mm	Welding Current Amps-DC	Arc Voltage Elec. Pos.	Wire Feed ipm	Travel Speed ipm	Shielding Gas Flow
1/8 3.2	Fillet or square groove	1	1/16 1.6	300	24	165	35	40
3/16 4.8	Fillet or square groove	1	1/16 1.6	350	25	230	32	40
	Vee			325	24	210		
1/4 6.4	groove	2	1/16 1.6	375	25	260	30	40
	Vee			400	26	100		
1/4 6.4	groove	2	3/32 2.4	450	29	120	35	40
1/4 6.4	Fillet	1	1/16 1.6	350	25	230	32	40
1/4 6.4	Fillet	1	3/32 2.4	400	26	100	32	40
	Vee			325	24	210		
3/8 9.5	groove	2	1/16 1.6	375	25	260	24	40
	Vee			400	26	100		
3/8 9.5	groove	2	3/32 2.4	450	29	120	28	40
3/8 9.5	Fillet	2	1/16 1.6	350	25	230	20	40
3/8 9.5	Fillet	1	3/32 2.4	425	27	110	20	40
	Vee			325	24	210		
	groove			375	26	260		
1/2 12.7		3	1/16 1.6	375	26	250	24	40
	Vee			400	26	100		
	groove			450	29	120		
1/2 12.7		3	3/32 2.4	425	27	110	30	40
1/2 12.7	Fillet	3	1/16 1.6	350	25	230	24	40
1/2 12.7	Fillet	3	3/32 2.4	425	27	105	26	40
						110		
	Double Vee			325	24	210		
	Vee			375	26	260		
3/4 19.1	Groove	4	1/16 1.6	350	25	230	24	40
	Double Vee			400	26	100		
	Vee			450	29	120		
3/4 19.1	Double	4	3/32 2.4	425	27	110	24	40
3/4 19.1	Fillet	5	1/16 1.6	350	25	230	24	40
3/4 19.1	Fillet	4	3/32 2.4	425	27	110	26	40
1 24.1	Fillet	7	1/16 1.6	350	25	230	24	40
1 24.1	Fillet	6	3/32 2.4	425	27	110	26	40

Use only in flat and horizontal fillet position.

(1) For fillet welds, material thickness indicates fillet weld size.

(2) Shielding gas is argon plus 1 to 5% oxygen.

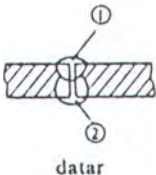
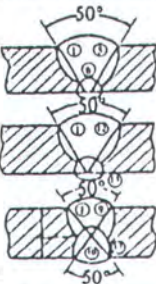
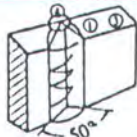
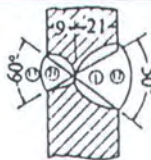


Material Thickness (1)			Electrode Dia.		Welding Current	Arc Voltage	Wire Feed	Travel Speed	Shielding Gas Flow
Fraction	in.	mm	in.	mm	Amps-DC	Elec. Pos	ipm	ipm	CFH (3)
24 ga.	0.025	0.6	0.030	0.8	30-50	15-17	85 100	12-20	15-20
22 ga.	0.031	0.8	0.030	0.8	40-60	15-17	130 70	18-22	15-20
20 ga.	0.037	0.9	0.025	0.9	55-85	15-17	120 100	35-40	15-20
18 ga.	0.050	1.3	0.035	0.9	70-100	16-19	160 120	35-40	15-20
1/16	0.063	1.6	0.035	0.9	80-110	17-20	180 160	30-35	20-25
5/64	0.078	2.0	0.035	0.9	100-130	18-20	220 210	25-30	20-25
1/8	0.125	3.2	0.035	0.9	120-160	19-22	290 210	20-25	20-25
1/8	0.125	3.2	0.045	1.1	180-200	20-24	240 210	27-32	20-25
3/16	0.187	4.7	0.035	0.9	140-160	19-22	290 210	14-19	20-25
3/16	0.187	4.7	0.045	1.1	180-205	20-24	245 240	18-22	20-25
1/4	0.250	6.4	0.035	0.9	140-160	19-22	290 210	11-15	20-25
1/4	0.250	6.4	0.045	1.1	180-225	20-24	290	12-18	20-25

Note: Singlepass flat and horizontal fillet position. Reduce current 10 to 15% for vertical and overhead welding.

(1) For fillet and groove welds. For fillet welds size equals metal thickness. For square groove welds the root opening should equal 1/2 the metal thickness.

(3) Shielding gas is CO₂ or mixture of 75% Argon + 25% CO₂

0,125 Tabel 7.10 Kondisi standar pada las busur CO₂.

Bentuk alur	Tebal Pelat atau panjang kaki (mm)	Celah akar (mm)	Dia-meter kawat (mm)	Arus las (Amp.)	Tega-nan busur (Volt)	Kecepat-an penge-lasan. (cm/men)	Keterangan
 <p>datar</p>	0,28 6	1-2	1,2	① 330-360 ② 330-360	32-33 32-33	55-60 55-60	Alur I tanpa pemahatan lawan
	0,32 8	1-2	1,6	① 370-380 ② - - -	32-33 - - -	47-53 - - -	
	0,33 10	1-2	1,6	① 390-400 ② - - -	33-34 - - -	47-53 - - -	
	0,17 12	1-2	1,6	① 430-450 ② - - -	33-35 - - -	47-53 - - -	
	0,63 16	0	1,6	① 200-240 ②~⑤ 280-320 ⑥ - - -	22-24 30-33 - - -	40-45 35-40 - - -	Las tumpul posisi datar, dengan las lawan.
	0,58 25	0	1,6	① 240-280 ②~③ 300-340	26-28 31-35	40-45 35-40	
	1,18 30	0	1,6	①~③ 300-340	31-35	35-40	
	0,13 20	0	1,2	① 150-190 ② - - - ③ - - - ④ - - -	24-26 - - - - - - - - -	15-20 8-12 4-8 15-20	Las tumpul posisi vertikal, dengan las lawan.
	1,18 30	0	1,2	① 190 ②~④ 210-230 ⑤~⑨ 220-250 ⑩~⑬ 210-230 ⑭~⑰ 220-250 ⑱~⑲ 210-230	27 26-28 - - - - - - - - - - - -	27 25-35 30-40 35-40 30-40 20-30	
	0,16 4,0	0	1,2	① 180-200	27-29	39-43	Las sudut horizontal satu lapis
	0,24 6,0	0	1,6	① 230-250	30-32	32-36	
	0,35 9,0	0	1,6	① 310-330	31-33	30-34	
	0,63 16	0	1,6	① 310-330 ② - - - ③ - - - ④ - - - ⑤ - - - ⑥ - - -	31-33 - - - - - - - - - - - - - - -	50-55 40-45 45-50 43-48 48-53 - - -	Las sudut horizontal lapis banyak.

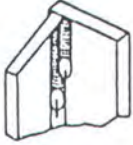

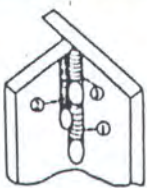
Bentuk alur	Tebal Pelat atau panjang kaki (mm)	Celah akar (mm)	Dia-meter kawat (mm)	Arus las (Amp.)	Tega-ngan busur (Volt)	Kecepat-an penge-lasan. (cm/men)	Keterangan
	0,1 - 0,2 5-6	0	1,2	① 120-150	20-22	12-16	Las sudut vertikal ke atas.
	0,15 - 0,3 7-8	0	1,2	① 140-180	23-25	8-12	
	0,35 - 0,5 9-10	0	1,2	① 160-200	24-26	6-10	
	0,2 - 0,25 5-6	0	1,2	① 190-230 ② - - -	28-30 - - -	55-60 45-50	Las sudut vertikal ke bawah dan berlapis dua.
	0,25 - 0,3 7-8	0	1,2	① 190-230 ② - - - ③ - - -	28-30 - - - - - -	45-50 - - - - - -	Las sudut vertikal ke bawah, berlapis tiga
	0,35 - 0,5 9-10	0	1,2	① 190-230 ② - - - ③ - - -	28-30 - - - - - -	35-40 - - - - - -	

FIGURE 6-68 Globular transfer (CO₂) schedules.

Ga.	Material Thickness		Type of Weld (a)	Electrode Dia.		Welding Current Amps-DC	Arc Voltage Elec. Pos.	Wire Feed ipm	Travel Speed ipm	CO ₂ Gas Flow CFH
	in.	mm		in.	mm					
18	0.050	1.3	Fillet	0.045	1.1	280	26	350	190	20-25
16	0.063	1.6	square groove	0.045	1.1	270	25	340	180	20-25
			Fillet	0.045	1.1	325	26	360	150	30-35
14	0.078	2.0	square groove	0.045	1.1	300	28	350	140	30-35
			Fillet	0.045	1.1	325	27	360	130	30-35
			square groove	0.045	1.1	325	29	360	110	30-35
11	0.125	3.2	square groove	0.045	1.1	330	29	350	105	30-35
			Fillet	1/16	1.6	380	28	210	85	30-35
2/16	0.188	4.8	square groove	0.045	1.1	350	29	380	100	30-35
			Fillet	1/16	1.6	425	31	260	75	30-35
			square groove	1/16	1.6	425	30	320	75	30-35
1/4	0.250	6.4	square groove	1/16	1.6	375	31	260	70	30-35
			Fillet	5/64	2.0	500	32	185	40	30-35
3/8	0.375	9.5	square groove	1/16	1.6	475	32	340	55	30-35
			Fillet	3/32	2.4	550	34	200	25	30-35
1/2	0.500	12.7	square groove	3/32	2.4	575	34	160	40	30-35
			Fillet	3/32	2.4	625	36	160	23	30-35
			square groove	3/32	2.4	625	35	200	33	30-35

For mild carbon and low alloy steels on square groove welds backing is required.

MG-50

JIS Z3312 YGW11
AWS A5.18 ER70S-G

For gas-shielded metal arc welding of mild steel and 490N/mm² high tensile steel by higher amperage.

Applications:

Butt or fillet MAG welding of structures such as ships, vehicles, buildings, bridges, and industrial machinery.

Characteristics on usage:

MG-50 is a solid wire whose arc stability is good at high current ranges. The arc is stronger and well spreads, so, good shape of bead and better penetration can be obtained. As high current can be used, MG-50 provides higher efficiency in welding of thick plates in flat, horizontal vertical and horizontal fillet positions by CO₂ shielding. The well-adhered copper plating without flakes and without rusting in long duration storage, glossy surface by the special treatment, well-controlled cast and helix to make accurate tracking on the weld seam, rigid spool to prevent insertion of wire into the underlayer wire; these features assure smooth feeding of wire with stable arc, regular beads and higher efficiency in welding.


Typical chemical composition of weld metal (%) (Shield gas: CO₂)

C	Si	Mn	P	S
0.08	0.51	1.10	0.010	0.010

Typical mechanical properties of weld metal (Shield gas: CO₂)

Y.P. N/mm ² (kgf/mm ²)	TS N/mm ² (kgf/mm ²)	El %	IV J (kgf-m)	P.W.H.T
490 (50)	570 (58)	30	120 (12)	-
420 (43)	530 (54)	32	140 (14)	625°C x 2hr

An example of joint weld test (Shield gas: CO₂)

W.P.	M.C.	Dia. (mm)	Depositing sequence	Welding condition				Joint tensile test		Weld metal	
				Pass	Amp	Volt	Speed (cm/min)	TS N/mm ² (kgf/mm ²)	Fractured position		IV (kgf-m)
F	SAE 1020A	1.2		1	(1.2mm)	260	29	30	560 (57)	MP	81 (8.5)
		1.6		2-7 (1.6mm)	350	35	30-40				

Sizes available and recommended currents (DC-EP)

Dia. (mm)	1.0	1.2	1.4	1.6
F	50-220	100-350	150-450	200-550
V	50-200	100-300	150-350	200-400

MG-50T

JIS Z3312 YGW12

For gas-shielded metal arc welding of mild steel and 490N/mm² high tensile steel by lower amperage.

Applications:

Butt or fillet MAG welding of structures such as vehicles, ships, industrial machinery, buildings, and bridges.

Characteristics on usage:

MG-50T is a solid wire whose arc stability is good at low current ranges (short-circuiting arc range) and spatter loss is low. It is suitable for all-position welding of steel sheets by CO₂ or Ar+CO₂ mixture gas shielding, for higher speed welding, and for root pass in the one-side welding. The well-adhered copper plating without flakes and without rusting in long duration storage, glossy wire surface by the special treatment, well-controlled cast and helix to make accurate tracking on the weld seam, rigid spool to prevent insertion of wire into the underlayer wire; these features assure smooth feeding of wire with stable arc, regular beads and higher efficiency in welding.


Typical chemical composition of weld metal (%) (Shield gas: CO₂)

C	Si	Mn	P	S
0.08	0.44	0.96	0.012	0.012

Typical mechanical properties of weld metal

TS N/mm ² (kgf/mm ²)	El %	IV J (kgf-m)	P.W.H.T	Shield gas
540 (55)	31	140 (14)	-	CO ₂
490 (50)	34	160 (16)	625°C x 2hr	CO ₂
560 (59)	32	160 (16)	-	80%Ar+20%CO ₂

An example of joint weld test (Shield gas: CO₂)

W.P.	M.C.	Dia. (mm)	Depositing sequence	Welding condition			Joint tensile test		Weld metal	
				Pass	Amp	Volt	Speed (cm/min)	TS N/mm ² (kgf/mm ²)	Fractured position	IV (kgf-m)
F	SAE 1020A	1.2		1-2	260	28	15-30	530 (54)	*MP	93 (9.5)

Sizes available and recommended currents (DC-EP)

Dia. (mm)	0.9	1.0	1.2
F	50-200	50-220	60-350
V	50-140	50-140	50-160
DC	50-120	50-120	50-140

MIX-50

JIS Z3312 YGW16
AWS A5.18 ER70S-3

For gas-shielded metal arc welding of mild steel and 490N/mm² high tensile steel by lower amperage.

Applications:

Butt or fillet MAG welding of structures such as vehicles, and industrial machinery.

Characteristics on usage:

MIX-50 is a solid wire for welding with Ar+CO₂ gas mixtures. It can be used in wide range of current from low to high with glossy bead appearance and less spatter. Particularly, the usability in the range of lower current (short-circuiting arc range) is good with stable arc. It makes welding of steel sheet easy. The well-adhered copper plating without flakes and without rusting in long duration storage, glossy wire surface by the special treatment, well-controlled cast and helix to make accurate tracking on the weld seam, rigid spool to prevent insertion of wire into the underlayer wire; these features assure smooth feeding of wire with stable arc, regular beads and higher efficiency in welding.

Typical chemical composition of weld metal (%) (Shield gas: 80%Ar + 20%CO₂)

C	Si	Mn	P	S
0.10	0.39	0.90	0.012	0.013

Typical mechanical properties of weld metal (Shield gas: 80%Ar + 20%CO₂)

YP N/mm ² (kgf/mm ²)	TS N/mm ² (kgf/mm ²)	El %	IV J(kgf-m), -20°C
440 (45)	540(55)	32	150 (16)

Sizes available and recommended currents (DC-EP)

	Dia. (mm)	0.9	1.0	1.2
Amp	F	50-200	50-220	80-350
	V & OH	50-140	50-140	50-160

MG-51T

JIS Z3312 YGW12
AWS A5.18 ER70S-6

For gas-shielded metal arc welding of mild steel and 490N/mm² high tensile steel.

Applications:

Butt or fillet MAG welding of structures such as vehicles, and industrial machinery.

Characteristics on usage:

MAG-51T is a solid wire which is designed to get good usability in all-position welding of steel sheets by the short-circuiting arc with CO₂ gas or Ar+CO₂ gas mixture for welding. The arc stability is good in the wide range of welding currents. Higher current can be applied in vertical and overhead positions as compared with MG-50T. It is suitable for all-position welding of pipes. The well-adhered copper plating without flakes and without rusting in long duration storage, glossy wire surface by the special treatment, well-controlled cast and helix to make accurate tracking on the weld seam, rigid spool to prevent insertion of wire into the underlayer wire; these features assure smooth feeding of wire with stable arc, regular beads and higher efficiency in welding.

Typical chemical composition of weld metal (%) (Shield gas: CO₂)

C	Si	Mn	P	S
0.11	0.53	1.15	0.011	0.012

Typical mechanical properties of weld metal

YP N/mm ² (kgf/mm ²)	TS N/mm ² (kgf/mm ²)	El %	IV J(kgf-m)	Shield gas
470 (48)	560 (57)	32	120 (12)	CO ₂
520 (53)	600 (61)	31	160 (16)	80%Ar+20%CO ₂

Sizes available and recommended currents (DC-EP)

	Dia. (mm)	0.9	1.0	1.2
Amp	F	50-200	50-220	80-350
	V	50-140	50-140	50-160
	OH	50-120	50-120	50-140

Product name	Standard		Shield gas	Applications and features	Dia. (mm)	Typical chemical composition of weld metal (%)					Typical mechanical properties of weld metal				PWHT	Remarks
	JIS	AWS				C	Si	Mn	P	S	YP N/mm ² (kgf/mm ²)	TS N/mm ² (kgf/mm ²)	El %	IV J (kgf-m)		
MG-1	Z3312 YGW11	A5.18 ER70S-G	CO ₂	For butt or fillet MAG welding of steel structures such as vehicles, buildings, bridges and industrial machinery. It is suitable for welding at high current range and arc is very stable and soft.	1.2	0.07	0.51	1.05	0.010	0.010	490 (50)	570 (58)	30	120 (12)	-	CO ₂
					1.4											
					1.6											
MG-2	Z3312 YGW12	A5.18 ER70S-G	CO ₂ Ar+CO ₂	For butt or fillet MAG welding of steel structures such as vehicles, industrial machinery, buildings and bridges. Arc stability is good at low current ranges (short-circuiting arc range) and arc is soft. Suitable for all-position welding of thin steel sheets.	0.9	0.07	0.50	1.05	0.012	0.016	430 (44)	550 (56)	30	140 (14)	-	CO ₂
					1.0											
					1.2											
MG-50	Z3312 YGW16	A5.18 ER70S-G	Ar+O ₂ Ar+CO ₂	For butt or fillet MAG welding of steel structures such as chemical equipment and pressure vessels. With several mixtures of shielding gases, good usability and weld joint properties can be obtained with wide range from low to high currents. Suitable for welding of mild steel, 490N/mm ² high tensile steel, and aluminium-killed steel for low temperature service.		0.08	0.71	1.21	0.010	0.007	490 (50)	590 (60)	33	-20°C 180 (18)	-	98%Ar +2%CO ₂
					1.0						400 (41)	540 (55)	33	-20°C 200 (20)	620°C x1hr	
					1.2						450 (46)	570 (58)	28	-20°C 180 (18)	-	80%Ar +20%CO ₂
					1.4						370 (38)	520 (53)	32	-20°C 190 (19)	620°C x1hr	
					1.6											
MIX-50S	Z3312 YGW15	A5.18 ER70S-G	Ar+CO ₂	For butt or fillet MAG welding of steel structures such as vehicles, buildings, bridges, and electric machinery. It can be used in wide range of current and particularly the arc is stable at higher amperage (spray arc range). It provides good usability in pulsed arc welding.	0.9 1.0 1.2 1.4 1.6	0.09	0.37	1.04	0.011	0.009	470 (48)	550 (56)	32	-20°C 170 (17)	-	80%Ar +20%CO ₂

OK Autrod 12.51

GMAW

A copper-coated, manganese-silicon bearing electrode for the GMAW of unalloyed steels, such as general structural steels with a minimum tensile strength of 530 MPa, and for fine-grained carbon-manganese steels with a minimum yield strength of 420 MPa. OK Autrod 12.51 can be welded with Ar/20CO₂ or pure CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties quoted here are welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas.

Welding current

DC(+)

OK Autrod 12.56

GMAW

A copper-coated, manganese-silicon alloyed electrode for the GMAW of unalloyed steels, such as general structural steels with a minimum tensile strength of no more than 510 MPa, and for fine-grained carbon-manganese steels with a minimum yield strength of 360 MPa. OK Autrod 12.56 can be welded with Ar/20CO₂ or pure CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties quoted here are welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas.

Welding current

DC(+)

OK Autrod 12.64

GMAW

A copper-coated, manganese-silicon alloyed electrode for GMAW. Compared with OK Autrod 12.51, OK Autrod 12.64 has a slightly higher silicon and manganese content, which increases the yield stress and the tensile strength of the weld metal if it is welded with CO₂ as the shielding gas. The high silicon content promotes low sensitivity to surface impurities and contributes to smooth, sound welds. OK Autrod 12.64 can be welded with Ar/20CO₂ or pure CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties quoted here are welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas.

Welding current

DC(+)

AWS A5.16-93
ER70S-6
EN 440

G 38 2 C G3Si,
G 42 3 M G3Si

ABS 3SA, 3YSA
LR 3S, 3YS
DnV III YMS
BV SA, 3YM
GL 3YS
RS 3YMS, K6SM
CO
PRS 3YS
DB 42.039.06
TÜV
RINA SG 52 3
SFS GS2-C1-51-6, GS2-M21-57-6
SS 143403, 143423
DS E 51 3
UDT

EN 440

G 38 2 C G3Si1,
G 38 2 M G3Si1

TÜV
DB 42.039.01
DS E 51 3

AWS A5.18-93
ER70S-6
EN 440

G 38 2 C G4Si,
G 42 3 M G4Si

ABS 3SA, 3YSA
LR 3S, 3YS
DnV III YMS
BV SA, 3YM
GL 3YS
CO
RS 6
SFS GS3-C1-51-6,
GS3-M21-57-6
DB 42.039.11
DS E 51 3
SS 143406, 143426
TÜV
RINA

composition %

C 0.08
Si 0.9
Mn 1.5

Wire composition

Yield stress

475 MPa

Tensile strength

560 MPa

Elongation

24%

Charpy V

Test temps Impact values

+20°C 120 J
0°C 100 J
-20°C 80 J
-40°C 50 J

C 0.08
Si 0.8
Mn 1.4

Wire composition

Yield stress

420 MPa

Tensile strength

540 MPa

Elongation

25%

Charpy V

Test temps Impact values

-20°C 70 J

C 0.1
Si 1.0
Mn 1.7

Wire composition

Yield stress

450 MPa

Tensile strength

560 MPa

Elongation

26%

Charpy V

Test temps Impact values

+20°C 120 J
-20°C 80 J

A

V

30-100 15-2
60-200 18-2
70-250 18-2
80-300 18-3
120-380 18-3
150-420 22-3
225-550 28-3

30-100 15-2
60-200 18-2
70-250 18-2
80-300 18-3
120-380 18-3
150-420 22-3
225-550 28-3

50-100 16-2
60-185 18-2
70-250 18-3
80-300 18-3
120-380 18-3
150-420 22-3
120-380 18-3

OK Autrod 12.67 GMAW

A copper-coated, manganese-silicon-alloyed electrode for the GMAW. OK Autrod 12.67 should be used when a higher silicon and manganese content is required or desired compared with OK Autrod 12.56. The higher silicon and manganese content increases the yield stress and the tensile strength of the weld metal. The high silicon content promotes a low sensitivity to surface impurities and contributes to smooth, sound welds. OK Autrod 12.67 can be welded with Ar/20CO₂ or pure CO₂ as the shielding gas.

Welding current

DC(+)

OK Tigrod 12.60 GTAW

A copper-coated, manganese-silicon-bearing rod for the GTAW of unalloyed steels, e.g. general structural steels with a min. tensile strength of 500 MPa, as well as for fine-grained carbon-manganese steels with a min. yield strength of 400 MPa. OK Tigrod 12.60 is normally welded with pure Ar as the shielding gas.

Welding current

DC(-)

OK Tigrod 12.64 GTAW

A manganese-silicon-alloyed rod for GTAW. The high silicon and manganese content increases the yield stress and the tensile strength of the weld metal. The high silicon content promotes low sensitivity to surface impurities. OK Tigrod 12.64 is normally welded with pure Ar as the shielding gas.

Welding current

DC(-)

EN 440
G 35 2 C G4Si1,
G 35 2 M G4Si1

TÜV
DB 42.039.15

AWS A5.18-93
ER70S-3
DIN 855:
WSG-1
Werkstoff Nr.
1.5112

AWS A5.18-79
ER70S-6
DIN 8559
WSG 3
Werkstoff Nr.
1.5130

TÜV
UDT

C 0.1
Si 0.9
Mn 1.6
Wire composition

Yield stress 0.6
460 MPa 0.8
Tensile strength 0.9
560 MPa 1.0
Elongation 1.2
25% 1.4
Charpy V 1.6
Test temps Impact values
-20 °C 80 J

C 0.1
Si 0.6
Mn 1.2
Wire composition

Yield stress 1.6 700
410 MPa 2.0 700
Tensile strength 2.4 700
515 MPa 3.2 700
Elongation
34%
Charpy V
Test temps Impact values
-18°C 85 J

C 0.1
Si 1.0
Mn 1.7
Wire composition

Yield stress 1.6 700
480 MPa 2.0 700
Tensile strength 2.4 700
620 MPa 3.2 700
Elongation 5.0 700
28%
Charpy V
Test temps Impact values
-20°C 70 J
-29°C 30 J

30-100 15-
60-200 18-
70-250 18-
80-300 18-
120-380 18-
150-420 22-
225-550 28-

OK Autrod 13.26

GMAW

A copper-coated, copper-nickel-alloyed electrode for the GMAW of weathering steels such as CORTEN A, B and C. The weld metal composition and mechanical properties also make this product suitable for welding high tensile cold tough steel. OK Autrod 13.26 can be welded with Ar/20CO₂ or CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties given here are welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas.

Welding current

DC(+)

OK Autrod 13.28

GMAW

A copper-coated, low-alloyed 2.5%Ni electrode for the GMAW of low-alloyed and low-temperature steels for applications such as vessels, pipes and in offshore industry. Also for welding steels where good impact strength at lower temperature (-20°C) is required. OK Autrod 13.28 is usually welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas. The minimum values for the mechanical properties are given in the post-weld, heat-treated condition.

Welding current

DC(+)

OK Autrod 13.29

GMAW

A copper-coated, low-alloyed electrode for the GMAW of high tensile strength steels requiring tougher weld metal for critical applications. Also for welding steels when fairly high impact strength at lower temperatures is required. OK Autrod 13.29 is usually welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas.

Welding current

DC(+)

AWS A5.28-79
ER80S-G

AWS A5.28-79
ER80S-Ni2
EN 440
G 46 5 M G2Ni2

AWS A5.28-79
ER100S-G

DnV IIYMS DC(+)
(CO₂)
DnV IIIYMS DC(+)
(Ar/20CO₂)
DB 42.039.04
SFS GSX-C1-57-5,
GSX-M21-57-5
DS E51 3
(Ar/20CO₂)

TÜV
DB 42.039.18
UDT

all weld metal
composition %

C 0.1
Si 0.8
Mn 1.4
Ni 0.8
Cr 0.2
Cu 0.3
Wire composition

C 0.1
Si 0.6
Mn 1.1
Ni 2.4
Wire composition

C 0.06
Si 0.6
Mn 1.6
Cr 0.3
Ni 1.4
Mo 0.25
V 0.07
Wire composition

all weld metal

Yield stress
540 MPa
Tensile strength
625 MPa
Elongation
26%
Charpy V
Test temps Impact values
+20°C 140 J
-20°C 110 J
-40°C 90 J
-46°C 55 J

Yield stress
470 MPa
Tensile strength
550 MPa
Elongation
24%
Charpy V
Test temps Impact values
-62°C 27 J

Yield stress
750 MPa
Tensile strength
820 MPa
Elongation
19%
Charpy V
Test temps Impact values
+20°C 70 J
-20°C 50 J
-30°C 40 J

mm

0.8
1.0
1.2
1.6

mm

current
A

40-170
80-280
120-350
225-480

voltage
V

16-2
18-2
20-3
26-3

OK Autrod 13.09

GMAW

A copper-coated, low-alloyed 0.5%Mo electrode for the GMAW of creep-resistant steels of the same type, such as pipes in pressure vessels and boilers with a working temperature of up to about 500°C. It can also be used for welding low-alloyed high tensile strength steels. OK Autrod 13.09 is usually welded with Ar/20 CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties are given in the stress-relieved condition.

Welding current

DC(+)

OK Autrod 13.12

GMAW

A copper-coated, low-alloyed 1% Cr, 0.5% Mo electrode for the GMAW of creep-resistant steels of the same type and other low-alloyed high tensile strength steels. OK Autrod 13.12 is usually welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties are given in the stress-relieved condition.

Welding current

DC(+)

OK Autrod 13.13

GMAW

A copper-coated, low-alloyed electrode for the GMAW of high tensile strength steels, with a minimum yield strength (0.2%) of 610 MPa and a minimum tensile strength of 710 MPa. Also for welding steels where good impact strength at lower temperature is required. OK Autrod 13.13 is usually welded with Ar/20CO₂ as the shielding gas. The mechanical properties are given in the as welded condition. After stress-relieving, the mechanical properties decrease by about 30 MPa for yield and tensile strength.

Welding current

DC(+)

AWS A5.28-79

ER80S-G

EN 440

G 38 0 C G2Mo,

G 46 0 M G2Mo

DnV

IIIYMS, DC+
(M21)

42.039.09

DB

TÜV

UDT

all weld metal
composition %

C 0.1

Si 0.7

Mn 1.1

Mo 0.5

Wire composition

Yield stress

430 MPa

Tensile strength

545 MPa

Elongation

26%

Charpy V

Test temps Impact values

+20°C 150 J

0°C 130 J

-20°C 95 J

-40°C 90 J

mm

mm

current
A

voltage
V

0.8

1.0

1.2

1.6

40-170

80-280

120-350

225-480

16-22

18-28

20-33

26-38

TÜV

UDT

C 0.1

Si 0.7

Mn 1.0

Cr 1.1

Mo 0.5

Wire composition

Yield stress

480 MPa

Tensile strength

600 MPa

Elongation

23%

Charpy V

Test temps Impact values

+20°C 55 J

0°C 40 J

-20°C 20 J

0.8

1.0

1.2

1.6

40-170

80-280

120-350

225-480

16-22

18-28

20-33

26-38

AWS A5.28-79

ER80S-G

DIN 8575

SGCrMo1

Werkstoff Nr.

1.7339

AWS A5.28-79

ER100S-G

C 0.1

Si 0.7

Mn 1.4

Cr 0.6

Ni 0.6

Mo 0.2

Wire composition

Yield stress

690 MPa

Tensile strength

770 MPa

Elongation

20%

Charpy V

Test temps Impact values

0°C 80 J

-20°C 75 J

-40°C 60 J

-60°C 50 J

0.8

1.0

1.2

1.6

40-170

80-280

120-350

225-480

16-22

18-28

20-33

26-38

Database Desktop - [Table: MATMEC01.DB]						
File Edit View Table Record Tools Window Help						
MATMEC01	IDMATERIAL	ELONG	MINYIELD	MAXYIELD	MINTENSILE	MAXTENSILE
1	ASTM A106-B	22.00	240.00	240.00	415.00	415.00
2	ASTM A131-A	21.00	235.00	235.00	400.00	490.00
3	ASTM A131-AH32	19.00	315.00	315.00	470.00	585.00
4	ASTM A131-AH36	19.00	350.00	350.00	490.00	620.00
5	ASTM A131-AH40	19.00	390.00	390.00	510.00	650.00
6	ASTM A131-B	21.00	235.00	235.00	400.00	490.00
7	ASTM A131-CS	21.00	235.00	235.00	400.00	490.00
8	ASTM A131-D	21.00	235.00	235.00	400.00	490.00
9	ASTM A131-DH32	19.00	315.00	315.00	470.00	585.00
10	ASTM A131-DH36	19.00	350.00	350.00	490.00	620.00
11	ASTM A131-DH40	19.00	390.00	390.00	510.00	650.00
12	ASTM A131-DS	21.00	235.00	235.00	400.00	490.00
13	ASTM A131-E	21.00	235.00	235.00	400.00	490.00
14	ASTM A131-EH32	19.00	315.00	315.00	470.00	585.00
15	ASTM A131-EH36	19.00	350.00	350.00	490.00	620.00
16	ASTM A131-EH40	19.00	390.00	390.00	510.00	650.00
17	ASTM A139-B	22.00	241.00	241.00	414.00	414.00
18	ASTM A36-NONE	20.00	250.00	250.00	400.00	550.00
19	ASTM A381-Y35	26.00	240.00	240.00	415.00	415.00
20	ASTM A500-A	25.00	228.00	228.00	310.00	310.00
21	ASTM A500-B	23.00	290.00	290.00	400.00	400.00
22	ASTM A501-NONE	20.00	250.00	250.00	400.00	400.00
23	ASTM A516-65	23.00	205.00	205.00	380.00	515.00
24	ASTM A516-60	21.00	220.00	220.00	415.00	550.00
25	ASTM A524-I	22.00	240.00	240.00	415.00	586.00
26	ASTM A524-II	28.00	205.00	205.00	380.00	550.00
27	ASTM A529-NONE	0.00	290.00	290.00	415.00	585.00
28	ASTM A53-B	22.00	240.00	240.00	415.00	415.00
29	ASTM A570-30	0.00	205.00	205.00	340.00	340.00
30	ASTM A570-33	0.00	230.00	230.00	360.00	360.00
31	ASTM A570-36	0.00	250.00	250.00	365.00	365.00
32	ASTM A570-40	0.00	275.00	275.00	380.00	380.00
33	ASTM A570-45	0.00	310.00	310.00	415.00	415.00
34	ASTM A570-50	0.00	345.00	345.00	460.00	450.00
35	ASTM A572-42	20.00	290.00	290.00	415.00	415.00

MATFILLER	MATDESC	FCAW1	FCAW2	GMAW1	GMAW2	SAW1	SAW2	SMAW1	SMAW2
1	ASTM A106-B	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
2	ASTM A131-A	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
3	ASTM A131-AH32	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
4	ASTM A131-AH36	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
5	ASTM A131-B	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
6	ASTM A131-CS	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
7	ASTM A131-D	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
8	ASTM A131-DH32	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
9	ASTM A131-DH36	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
10	ASTM A131-DS	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
11	ASTM A131-E	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
12	ASTM A131-EH32	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
13	ASTM A131-EH36	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
14	ASTM A139-B	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
15	ASTM A36-NONE	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
16	ASTM A361-Y35	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
17	ASTM A441-NONE	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
18	ASTM A500-A	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
19	ASTM A500-B	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
20	ASTM A501-NONE	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
21	ASTM A516-55	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
22	ASTM A516-60	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
23	ASTM A516-65	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
24	ASTM A516-70	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
25	ASTM A524-I	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
26	ASTM A524-II	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
27	ASTM A529-NONE	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
28	ASTM A53-NONE	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
29	ASTM A537-CLASS 1	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
30	ASTM A537-CLASS 2	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
31	ASTM A570-30	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
32	ASTM A570-33	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
33	ASTM A570-36	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
34	ASTM A570-40	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5
35	ASTM A570-45	A 5.20	A 52.9	A 5.18		A 5.17	A 5.23	A 5.1	A 5.5

Database Desktop											
File Edit View Table Record Tools Window Help											
Table: MATCHEM01.DB											
MATCHEM0	IDMATERIAL	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cu	Cr	Mo	
1	ASTM A106-B	0.30	1.06	0.04	0.04	0.10	0.40	0.40	0.40	0.40	
2	ASTM A131-A	0.23	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	ASTM A131-AH32	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
4	ASTM A131-AH36	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
5	ASTM A131-AH40	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
6	ASTM A131-B	0.21	1.10	0.04	0.04	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	ASTM A131-CS	0.16	1.35	0.04	0.04	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	ASTM A131-D	0.21	1.35	0.04	0.04	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	ASTM A131-DH32	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
10	ASTM A131-DH36	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
11	ASTM A131-DH40	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
12	ASTM A131-DS	0.16	1.35	0.04	0.04	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	ASTM A131-E	0.18	1.35	0.04	0.04	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	ASTM A131-EH32	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
15	ASTM A131-EH36	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
16	ASTM A131-EH40	0.18	1.60	0.04	0.04	0.50	0.40	0.35	0.25	0.25	
17	ASTM A139-B	0.30	1.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	ASTM A36-NONE	0.25	0.00	0.04	0.05	0.40	0.00	0.20	0.00	0.00	
19	ASTM A381-Y35	0.26	1.40	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	ASTM A500-A	0.30	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	
21	ASTM A500-B	0.30	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	
22	ASTM A501-NONE	0.30	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	
23	ASTM A516-55	0.18	0.98	0.04	0.04	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	
24	ASTM A516-60	0.21	0.98	0.04	0.04	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	
25	ASTM A524-I	0.21	1.35	0.04	0.04	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	
26	ASTM A524-II	0.21	1.35	0.04	0.04	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	
27	ASTM A529-NONE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	ASTM A53-B	0.30	1.20	0.05	0.05	0.00	0.40	0.40	0.40	0.40	
29	ASTM A570-30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	ASTM A570-33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	ASTM A570-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
32	ASTM A570-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	